



Universidade de Aveiro Departamento de Química
Ano 2020

**Ana Cláudia Dias
Almeida**

**Identificação e otimização de parâmetros
qualitativos na filtração em função do estilo de
cerveja**



Universidade de Aveiro Departamento de Química
Ano 2020

**Ana Cláudia Dias
Almeida**

Identificação e otimização de parâmetros qualitativos na filtração em função do estilo de cerveja

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Bioquímica Alimentar, realizada sob a orientação científica do Doutora Elisabete Verde Martins Coelho, Investigadora do Departamento de Química da Universidade de Aveiro e sob a supervisão em ambiente industrial do Engenheiro Nicolas Jean-Louis Billard, Essência D'Alma, Lda.

o júri

presidente	Professor Doutor Brian James Goodfellow Professor Auxiliar, Departamento de Química da Universidade de Aveiro
arguente	Doutora Ana Cristina Braga Pinheiro Investigadora, Departamento de Engenharia Biológica de Universidade do Minho
orientador	Doutora Elisabete Verde Martins Coelho Investigadora, Departamento de Química da Universidade de Aveiro

agradecimentos

À Universidade de Aveiro e à empresa Essência D´Alma pela oportunidade de realização da dissertação e do estágio em ambiente empresarial permitindo-me adquirir muitos conhecimentos.

À professora Doutora Elisabete Coelho e ao professor Doutor Manuel Coimbra pela disponibilidade e ajuda na escrita da minha dissertação.

Aos meus amigos pelo acompanhamento ao longo destes dois anos e pelo apoio constante e permanente que nunca irei esquecer.

Um agradecimento especial ao Paulo pelo companheirismo e força emocional durante todo o meu percurso académico.

Por último, à minha família pela paciência e por todas as palavras de força, apoio e carinho incondicional.

palavras-chave

Cerveja, Filtração, estabilidade coloidal, turbidez, filtração de cartuchos, filtração de terra de diatomáceas

resumo

O processo de filtração da cerveja permite aumentar o prazo de validade mantendo a estabilidade e a qualidade do produto pela remoção de partículas coloidais originadas nas diferentes fases da produção da cerveja. O parâmetro mais importante a ser registado durante a filtração é a turbidez porque é um parâmetro visual que define a aceitabilidade do consumidor pelo produto. Uma das principais causas de turbidez é a formação de agregados coloidais que têm origem na ligação por pontes de hidrogénio e interações hidrofóbica entre polifenóis, proteínas, leveduras e polissacarídeos.

Cada estilo de cerveja artesanal possui diferentes parâmetros de turbidez. Assim sendo, no decorrer do estágio foram acompanhadas as filtrações de cervejas de estilos *German Pilsner*, *Märzen*, *Doppelbock*, *Indian Pale Ale*, *Brut IPA* nas quais se pretende que tenham turbidez máxima de 150 FTU e os estilos *Dark Lager*, *American Pale Ale*, *Baltic Porter* onde se pretende que tenham turbidez entre 200-600 FTU. Sendo assim, e de forma a otimizar o processo de filtração foram criados protocolos de ambas as filtrações. Através da análise do processo de filtração foi possível observar uma melhoria na redução da turbidez de 18 % em todos os estilos de cerveja filtrados utilizando a terra de diatomáceas e uma melhoria de 10 % na eficiência da filtração dos estilos de cerveja *German Pilsner* e *Märzen*. O processo de filtração com terra de diatomáceas foi otimizado de forma a prevenir a colmatação das velas do filtro, tendo sido implementada uma nova dosagem de terras de diatomáceas e foi utilizado água para melhorar a formação das pré-camadas e ocorreu também uma redução ao nível de tempo de formação das pré-camadas. A nova dosagem de terras de diatomáceas para cervejas que possuam uma turbidez maior de 300 FTU apresentou problemas no filtro, sendo que, quanto mais elevado o valor de turbidez mais rapidamente ocorria a colmatação do filtro. Neste sentido propõe-se novos protocolos de filtração baseados na turbidez inicial da cerveja, combinando os métodos de filtração e a sequência de filtração dependendo do valor de turbidez inicial.

A combinação dos dois métodos de filtração foi testada para os estilos de cerveja *German Pilsner* e *Märzen*. No estilo *Märzen* ocorreu uma filtração de cartuchos seguida de uma filtração de terra de diatomáceas permitindo uma melhoria de 95 % na filtração da cerveja *German Pilsner* ocorreu o processo contrário o que permitiu uma redução de turbidez de 99%. A otimização do processo de filtração foi implementada para vários estilos de cerveja, tendo em conta a turbidez inicial e final da cerveja foram aplicados 3 protocolos de filtração distintos.

Keywords

Beer, filtration, colloidal stability, turbidity, cartridge filtration, Diatomaceous earth filtration

Abstract

Beer filtration allows to increase the shelf-life maintaining the stability and quality of the product allowing the removal of colloid particles originated in the different stages of beer production. The most important parameter to be controlled during filtration is turbidity because it is a visual parameter that defines consumer acceptability for the product. One of the main causes of turbidity is the formation of colloidal aggregates resulting from hydrogen bonds and hydrophobic interactions between polyphenols, proteins, yeast's and polysaccharides.

Each style of craft beer has different parameters of turbidity. Therefore, during the internship, beer filtration different styles were monitored such as *German Pilsner*, *Märzen*, *Doppelbock*, *Indian Pale Ale*, *Brut IPA* styles, in which they are expected to have turbidity up to 150 FTU and *Dark Lager*, *American Pale Ale*, *Baltic Porter* styles where it is expected to have turbidity between 200-600 FTU. Thus, to optimize the filtration process, protocols for both filtrations were created. Through the analysis of the filtration process it was possible to observe an improvement in the reduction of turbidity of 18 % in all beer styles filtered using diatomaceous earth and a 10 % improvement in the filtration efficiency of the *German Pilsner* and *Märzen* beer styles. The filtration process with diatomaceous earth was optimized to prevent clogging of the filter candles, a new dosage was implemented, and water was used to improve the time formation of the pre-layers. The new dosage of diatomaceous earth for beers that have a turbidity higher than 300 FTU presents filter problems, higher turbidity values results in a faster filter clogging. In this sense, new filtration protocols are proposed based on the initial turbidity of the beer, combining the filtration methods and the filtration sequence depending on the initial turbidity value.

The combination of the two filtration methods was tested for the *German Pilsner* and *Märzen* beer styles. In the *Märzen* style, a filtration of cartridges followed by a filtration of diatomaceous earth allowing a 95% improvement and in the filtration of *German Pilsner* beer the inverse process occurred, which allowed a 99 % reduction in turbidity. The optimization of the filtration process was implemented to the different beer styles, taking in account the initial and final turbidity were used 3 different filtration protocols.

Índice

Índice de tabelas	i
Índice de figuras	i
Índice de equações	iii
Índice de esquemas	iii
Siglas e Abreviaturas	iv
I. Revisão bibliográfica	1
1. Contextualização	1
2. Cerveja	3
2.1. Matérias-primas	3
2.1.1. Água	3
2.1.2. Grãos de Cereais	4
2.1.3. Lúpulo	5
2.1.4. Levedura	6
2.2. Produção da cerveja	8
2.2.1. Maltagem, Moagem e Brassagem	8
2.2.3. Filtração e Ebulição do mosto	11
2.2.4. Decantação e Arrefecimento do mosto	11
2.2.5. Fermentação e Maturação	12
2.2.6. Filtração, Carbonatação, Enchimento	13
2.2.7. Pasteurização e Armazenamento	13
2.3. Filtração da cerveja	14
2.3.1. Tipos de filtração	15
2.3.1.1. Filtração de Cartuchos	17
2.3.1.2. Filtração com terra de diatomáceas	19
2.3.2. Estabilidade da cerveja	23
2.3.3. Parâmetros qualitativos da cerveja que exercem influência na filtração	25
2.3.3.1. Turbidez	25
2.3.3.2. Teor de carboidratos	26
2.3.3.3. pH	27
2.3.3.4. Viscosidade	27
2.3.3.5. Temperatura e Pressão	28
2.3.3.6. Teor de proteínas	29
2.3.3.7. Teor de polifenóis	29
2.3.3.8. Concentração de Leveduras	30
2.3.3.9. Oxigênio dissolvido	31
2.3.3.10. Amargor e Cor	31
II. Desenvolvimento do estágio curricular na empresa	33
1. Objetivos do estágio	33
2. Apresentação da empresa	33
3. Atividades desenvolvidas na empresa	34
4. Materiais e Métodos	35

4.1. Filtração de Cartuchos	35
4.2. Filtração de Terra de diatomáceas	39
4.3. Análise de Parâmetros físico-químicos da cerveja	41
4.3.1. Análise da turbidez	41
4.3.2. Análise de pH e sólidos solúveis totais	41
4.3.3. Análise da temperatura e da pressão	42
5. Análise e discussão de resultados	42
5.1. Filtro de Cartuchos	42
5.2. Filtro de Terra de diatomáceas	50
5.2.1. Otimização do processo de filtração de terra de diatomáceas	51
5.2.2. Ajuste da quantidade de terras de diatomáceas	57
5.2.2.1. Pré-camadas formadas com a utilização de água da rede	62
5.2.3. Determinação da turbidez ideal de filtração	63
6.3. Filtração de Terras vs Filtração de Cartuchos	65
6.3.1. Combinação dos dois métodos de filtração	67
6.3.2 Cervejas com turbidez inicial distinta	72
6.3.3 Teor de sólidos solúveis totais e pH das cervejas filtradas	74
III. Conclusões	76
IV. Referências Bibliográficas	78
V. Anexos	83

Índice de tabelas

Tabela 1-Parâmetros qualitativos para cada estilo de cerveja. Adaptado da referência ¹⁴ .	2
Tabela 2-Composição química do Kieselguhr. Adaptado da referência ¹⁶ .	20
Tabela 3-Classes de coloides presentes na cerveja. Adaptado da referência ⁷⁹ .	26
Tabela 4- Características de cervejas Vadia filtradas na empresa Essência D´Alma.	34
Tabela 5- Propriedades da terra Randacel [®] 200 ⁹⁷ .	40
Tabela 6- Propriedades das terras Celatom [®] ⁹⁸ .	40
Tabela 1- Materiais de construção do filtro de cartuchos.	2
Tabela 2- Informações sobre a filtração das cervejas Vadia.	4
Tabela 7- Dados de filtração dos estilos GP e MN nos métodos BC e CC.	48
Tabela 8- Dados da filtração dos estilos de cerveja filtrados nas diferentes condições de pressão.	49
Tabela 1- Propriedades da terra Randacel [®] 200.	2
Tabela 2- Propriedades das terras de diatomáceas denominadas Celatom [®] .	3
Tabela 3- Percentagem de terras de diatomáceas a utilizar durante a filtração.	4
Tabela 4- Tabela explicativa da quantidade de terras a utilizar no processo de filtração.	4
Tabela 9-Percentagens utilizada na filtração de KG.	58
Tabela 10-Percentagens utilizada depois do novo dimensionamento na filtração de KG.	60
Tabela 11- Filtração de cartuchos seguida de filtração de KG a lotes do estilo MN com paragem em cuba.	68
Tabela 12-Filtração de cartuchos seguida de filtração de KG a lotes do estilo MN sem paragem em cuba.	69
Tabela 13- Filtração de KG seguida de filtração de cartuchos a lotes do estilo GP.	72
Tabela 14-Temperatura dos lotes do estilo de cerveja GP.	72
Tabela 15-- Parâmetros de °Brix e pH registados para cada um dos estilos de cerveja antes e depois da filtração.	74

Índice de figuras

Figura 1-Composição do grão de cevada. Retirado de ²⁸ .	4
Figura 2-Morfologia de uma flor feminina de lúpulo. Adaptado da referência ⁹⁸ .1- Raiz do cone de lúpulo; 2- Bractéola; 3-bráctea; 4- Glândulas lupulinas.	5
Figura 3-Metabolismo da levedura. Retirado de ⁴³ .	7
Figura 4- Mecanismo de floculação utilizado pelas leveduras. Retirado de ¹⁰² .	8
Figura 5- Filtração em profundidade (A) e filtração de superfície (B).	15
Figura 6-Tamanhos dos diferentes tipos de membranas. Adaptado da referência ⁵⁷ .	16

Figura 7- Esquema de um filtro de cartuchos. Retirado de ¹⁰⁶ .	17
Figura 8- Esquema representativo do modo de operação normal do filtro de cartuchos.	18
Figura 9- Constituição de um filtro de vela aplicado na filtração de terras de diatomáceas. 1- Tubos de vela; 2- Espaço entre os tubos para o filtro auxiliar; 3- Válvula de saída do produto; 4- Válvula de entrada do produto.	21
Figura 10- Imagem do filtro de vela (A) das pré- camadas do filtro de terras (B). Adaptado da referência ⁶⁷ .	22
Figura 11 - Esquema representativo de como se processam as interações que ocorrem entre proteínas e polifenóis. Adaptado das referências ⁴⁵ e ⁷² . A- Ligações por pontes de hidrogénio; B- Ligações por interações hidrofóbicas.	24
Figura 12- Flavonol e seus derivados presentes na cerveja. Retirado de ⁹ .	30
Figura 13- Representação esquemática da montagem do equipamento na filtração de cartuchos. G5- <i>Housing</i> de um espaço para colocar um cartucho; G1 – <i>Housing</i> de três espaços para colocar três cartuchos.	37
Figura 14- Diferença de pressão dos <i>housing</i> 's. Retirado de ⁹⁶ .	38
Figura 15- Montagem do filtro de terra de diatomáceas. A1 – Recipiente de mistura das terras; A2- Recipiente que contém o filtro de velas.	39
Figura 16- Aparelho 2100 Q da Hach e a respetiva cuvete ⁹⁹ .	41
Figura 17- Aparelho H1-2020 da <i>Hanna Instruments</i> ¹⁰⁰ .	42
Figura 18- Aparelho HI96813 da <i>Hanna Instruments</i> ¹⁰¹ .	42
Figura 19- Protocolo da filtração de Cartuchos.	43
Figura 20- Imagem da parte inferior de um filtro de cartuchos. a- Patilhas do filtro; b- O-rings ² .	3
Figura 21- Volume de cerveja filtrada com cartuchos ao longo do decorrer do estágio.	43
Figura 22- Rendimento dos lotes de cerveja filtrados com cartuchos.	44
Figura 23- Turbidez dos lotes de cerveja filtrados com cartuchos.	45
Figura 24- Fluxo dos estilos de cerveja filtradas com o uso do método CC.	47
Figura 25- Fluxo dos estilos de cerveja filtradas com o uso do método BC.	47
Figura 26- Protocolo da filtração de terra de diatomáceas.	51
Figura 27- Volume de cerveja filtrada com KG ao longo do decorrer do estágio.	53
Figura 28- Rendimento das cervejas filtradas com KG.	54
Figura 29-Turbidez dos lotes de cerveja filtrados com KG.	55
Figura 30- Imagens das alterações visuais da redução de turbidez em cervejas vadia, antes/depois da filtração. A- Lotes de MN; B- Lotes de DL; C- Lote de BI.	56

Figura 31- Fluxo dos lotes filtrados com KG representados para os diversos estilos de cerveja.	57
Figura 32- Quantidade de terras utilizadas nos diferentes estilos de cerveja no processo de filtração.	59
Figura 33- Quantidade de terras utilizadas nos diferentes lotes de cerveja no processo de filtração no novo dimensionamento de terras.	61
Figura 34- Formação das pré-camadas com as duas condições.	62
Figura 35- Imagem do visor do filtro de velas nas pré-camadas. A- 1º Pré-camada; B- 2º Pré-camada.	63
Figura 36- Valor de pressão e fluxo da cerveja do estilo de cerveja GP filtradas com KG.	64
Figura 37- Turbidez de todos os lotes de cervejas vadia filtrados. Barras laranja- Filtrados com cartuchos; Barras azuis- Filtrados com KG.	66
Figura 38- Fluxo e pressão de cerveja dos lotes filtrados com a combinação dos dois métodos de filtração.	70

Índice de equações

Equação 1	$\Delta P = \mu \times Q \times LA \times \beta$	15
-----------	--	----

Índice de esquemas

Esquema 1- Procedimento de funcionamento do filtro de Terra de diatomáceas.	51
Esquema 2- Combinação do método de filtração de cartuchos juntamente com a filtração de terras com paragem em cuba do estilo de cerveja MN. A- Cuba inicial; B- Cuba filtrada; C- Maturador;	68
Esquema 3-Combinação do método de filtração de cartuchos juntamente com a filtração de terras sem paragem em cuba do estilo de cerveja MN. A- Cuba inicial; B- Maturador;	69
Esquema 4-Combinação do método de filtração de terras juntamente com a filtração de cartuchos do estilo de cerveja GP. A- Cuba inicial; B- Maturador;	71
Esquema 5- Tipos de filtração a utilizar para cada estilo de cerveja. Imagens retiradas de ¹⁰⁸ .	77

Siglas e Abreviaturas

AP- *American Pale Ale*

AX - Arabinoxilanas

BC - Com a bomba

BI- *Brut India Pale Ale*

BP- *Märzen*

CC – Com a contrapressão

DB- *Doppelbock*

DL- *Dark Lager*

EBC - *European Brewery Convention*

EF- Eficiência da unidade de filtração

GP- *German Pilsner*

IP- *Indian Pale Ale*

KG –Terra de diatomáceas (*kieselguhr*)

LTP - proteína de transferência lipídica 1

MF – Microfiltração

MN- *Märzen*

ppm – partes por milhão

ppv – partes por bilhão

V/V – Volume de CO₂/ volume de
cerveja

SL- *Saison Lager*

SP- *Saison Pale Ale*

°dH - Graus alemães de dureza total

I. Revisão bibliográfica

1. Contextualização

A cerveja é uma bebida fermentada com diversas propriedades físico-químicas^{1,2}, tais como, o seu pH entre 3,8 – 4,7, a concentração de etanol variando entre 0,5 e os 10 %, a presença de compostos antimicrobianos no lúpulo, o teor reduzido de oxigénio (O₂) e o alto conteúdo de dióxido de carbono (CO₂)³. Os seus constituintes principais são a água, hidratos de carbono que não sofreram fermentação pela levedura, etanol e dióxido de carbono, fazendo desta bebida uma das mais complexas contendo mais de 800 compostos orgânicos⁴. Em Portugal, segundo o Decreto-Lei n.º 324/98, de 30 de Outubro, não pode haver uma produção de cerveja pelas microcervejeiras superior 200000 hL de cerveja por ano para manter a consideração como sendo artesanal⁵. Em 2018 registou-se no nosso país 68 empresas produtoras de cerveja artesanal que corresponderam a uma produção de 527,6 milhões de litros. O consumo de cerveja têm vindo a aumentar sendo já de 61 hL (em 2017), contudo ainda se encontra abaixo de alguns países no norte da Europa como a República Checa com 108 hL e a Áustria com 106 hL⁶.

A cerveja artesanal distingue-se pela criação de novos estilos através de misturas de matérias-primas (**tabela 1**) que sejam ricos em novos sabores e aromas¹. Para além disso, os volumes de produção são relativamente inferiores e existe um controlo mais acentuado sobre o uso de adjuvantes como o PVPP (polivinilpirrolidona) ou sílica coloidal no processo⁷. A criação de novos processos de fabrico da cerveja permitiu introduzir a filtração no processamento cervejeiro de forma a aumentar a estabilidade da cerveja⁸. Existem vários tipos de estabilidade, tais como, estabilidades biológicas e não biológicas, dentro da não biológica são avaliados parâmetros de estabilidade da espuma, de “*gushing*”(que corresponde ao transbordar da cerveja quando ocorre a abertura da garrafa), de aroma, física e de cor (medida qualitativamente através das unidades de cor estabelecidas pela *European Brewery Convention* (EBC)), pois estes parâmetros colocam em risco a qualidade visual e organolética da cerveja^{9,10}. Desta forma, a filtração permite obter a alta limpidez da cerveja, visto que, durante esta etapa o parâmetro variável mais fulcral é a turbidez sendo a sua quantificação importante para determinar aceitabilidade da cerveja pelo consumidor^{11,12}. A turbidez no mercado internacional pode ser indicada como uma característica desejável ou como sendo um defeito dependendo do estilo característico do produto final⁸. Por exemplo, as cervejas conhecidas como *lagers* são características pelo seu aspeto brilhante e claro e a presença de turbidez representa um

defeito. Por outro lado, cervejas que incluem leveduras ou maltes de trigo na sua constituição como a norte-americanas *hefeweizen* geralmente a qualidade e duração da turbidez é vista como uma característica do estilo¹³.

Tabela 1-Parâmetros qualitativos para cada estilo de cerveja. Adaptado da referência ¹⁴.

Tipos de cervejas	Cor	EBC	Turbidez	Exemplos internacionais
Pale Ale	Dourado profundo a cobre ou marrom claro	10-24	Claro a Ligeira turbidez	<i>American Pale Ale, Blonde Ale, English-Style Bitter</i>
Dark Lagers	Cor dourada a cor de cobre	49-59	Claro a Ligeira turbidez	<i>American Amber Lagers, German-Style Schwarzbier,</i>
Brown Ales	Cobre Profundo a Marrom Muito Escuro	29-51	Claro	<i>American Brown Ale, English-Style Mild</i>
India Pale Ale	Ouro a Cobre, Vermelho / Marrom	9-31	Claro e Ligeira turbidez	<i>American IPA, New England IPA</i>
Wheat beers	Ouro a Castanho Claro	20-49	Ligeira turbidez a Opaco	<i>American wheat, American-Style Wheat Wine Ale,</i>
Pilsener and Pale Lager	Palha para Dourado Escuro	3-11	Claro	<i>European-Style Export, American Lager, Bohemian-Style Pilsener</i>
Porters	Marrom escuro (pode ter tom vermelho) a Muito escuro	>79	Claro a Opaco	<i>Baltic-Style Porter, English-Style Brown Porter</i>
Doppelbock	Cobre a Marrom Escuro	24-59	Claro	<i>German-Style Doppelbock</i>

De forma a manter a qualidade destas cervejas muitas vezes são adotados uma variedade de métodos para estabilizar a cerveja contra a formação de turbidez coloidal para permitir a vida útil pretendida de um produto¹⁵. A turbidez coloidal é resultado de reações e agregações de moléculas que formam partículas visíveis que refletem a luz¹⁶. As moléculas que formam estes coloides na cerveja são proteínas, taninos, hidratos de carbonos, oxigénio e iões metálicos, derivados das matérias-primas e modificados pelo processamento na cervejaria¹⁶. O processo de filtração é essencial para ajustar a quantidade de moléculas e permitir a criação de uma cerveja estabilizada¹⁷.

2.Cerveja

2.1. Matérias-primas

2.1.1. Água

A água é a maior e mais importante matéria-prima utilizada na produção de cerveja representando cerca de 90 % de toda a produção^{18,19,2}. Para além disso, ela também é utilizada na lavagem, limpeza e esterilização do material utilizado na produção^{19,20}. Devido ao seu uso, a sua qualidade e processamento são aspetos fulcrais a ter em conta pois a sua composição mineral vai influenciar o pH, o sabor e a estabilidade coloidal^{12,18}. Os minerais que mais se destacam neste processo são o cálcio e o magnésio. O cálcio durante a brassagem reage com o tampão fosfato e influencia o pH do mosto, criando condições para o funcionamento de enzimas que têm atividade na zona de pH 5,2 - 5,4, entre as quais as amilases e endopeptidases¹⁸. Para além disso é responsável pela formação de oxalato de cálcio com a sua ligação ao ácido oxálico proveniente do malte na maltagem. Quanto maior a quantidade de cálcio maior a formação de oxalato de cálcio que precipita e forma cristais que originam a turbidez¹⁸. A quantidade de cálcio deve ser inferior a 15 ppm na cerveja final para evitar fenómenos de “*gushing*” pois forma locais de nucleação que permite o aprisionamento de CO₂ e a sua libertação rápida resultando numa perda de qualidade da cerveja^{21,22}. Em contrapartida, o magnésio é importante para a saúde humana mas como se dissolve cerca de duas vezes mais rápido do que os iões de cálcio não possui influência determinante no pH da água¹⁸. O cloro e bromo participam na formação de trihalometanos, que são moléculas de metano onde os hidrogénios são substituídos por halogénios como o cloro e bromo que são compostos orgânicos que contribuem para a formação de coloides e materiais suspensos na água e posteriormente na cerveja²³. Outros iões tais como sulfato, nitrato e bicarbonato também influenciam a qualidade da água¹⁸. A filtração da água ajuda a manter os requisitos necessários de utilização da água com a remoção principalmente de quantidades de cloretos, pequenas moléculas orgânicas com tamanhos > 0.1µm e iões multivalentes presente na água^{18,24}.

A dureza total pode ser calculada pela soma de todos os iões alcalino terrosos contidos na água. Estes iões vão influenciar o valor do pH no processo de maltagem e brassagem, do mosto e da cerveja, bem como, reações enzimáticas e não-enzimáticas mediadas pela acidez². Desta maneira, com a utilização de águas com uma alcalinidade elevada (< 10 °dH) ajustam-se ao fabrico de cervejas mais escuras pois a utilização de maltes mais torrados diminui o pH permitindo a atuação da levedura. Pelo contrário,

águas mais ácidas e com maior teor mineral (-2 a 2 °dH) são mais indicadas para o fabrico de cervejas mais claras como as Pilsener^{2,18}. Como as águas duras possuem maior quantidade de cálcio e magnésio, provocando uma maior quantidade de precipitados de oxalato de cálcio, podem mais tarde dar origem a problemas de turbidez⁴.

2.1.2. Grãos de Cereais

Os cereais são fornecedores de amido, proteínas, vitaminas essenciais e minerais importantes para a fermentação de microrganismos². O cereal mais adequado e utilizado no fabrico da cerveja é o grão de cevada (**figura 1**)¹⁹. Este possui uma elevada quantidade interna de amido com valores entre os 62 a 77 % e componentes entre os quais água, compostos nitrogenados e lípidos²⁵. Existem várias camadas que compõem e protegem o grão como as camadas externas (aleurona e casca) que envolvem o endosperma que por sua vez englobam o embrião^{2,26}.

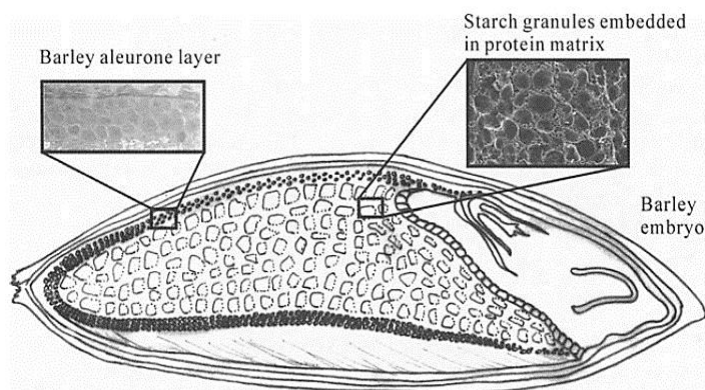


Figura 1-Composição do grão de cevada. Retirado de ²⁸.

O endosperma representa ~75 % do peso total do grão e é composto por grânulos de amido que contêm polissacarídeos de amilose (35 %) e de amilopectina (75 %). A amilose é constituída por cadeias lineares de glucose em ligação ($\alpha 1 \rightarrow 4$), enquanto a amilopectina é constituída por cadeias de glucose ($\alpha 1 \rightarrow 4$) extensamente ramificadas por ligações em ($\alpha 1 \rightarrow 6$)^{26,27}. As proteínas de armazenamento encontradas no endosperma são denominadas hordeínas, sendo estas constituídas por uma sequência N – terminal rica em glutamina e prolina (40-50 %) com percentagens de prolina/glutamina 33,2 % e 32,7 %, respetivamente^{27,28}. Esta sequência sofre proteólise na maltagem levando a problemas de estabilização coloidal tornando-se as responsáveis pela formação de turbidez na cerveja^{28,29}. Esta camada encontra-se circundada de camadas externas como a aleurona espessa que contém uma maior proporção de β -glucanas relativamente às arabinoxilanas (AX)². Sendo que, a solubilização das primeiras é consideravelmente maior originando

uma elevada viscosidade na maltagem e uma menor filtrabilidade³⁰. A casca serve para proteger a semente de abrasão física impedindo também a sua danificação durante a germinação e a secagem. Alguns dos polifenóis presentes na cerveja podem ser encontrados na casca podendo gerar turbidez proteína-polifenol¹⁰. A pouca deterioração da casca no grão de cevada vai permitir que a filtração seja mais rápida e eficiente². O grão de cevada contém ácido oxálico numa proporção de 10 a 20 mg/ 100g que está ligado na forma de sais insolúveis de potássio e sódio que na sua reação com o cálcio formam compostos cristalinos insolúveis responsáveis pela turbidez²².

2.1.3. Lúpulo

O lúpulo pode ser denominado de *Humulus Lupulus L.* (**figura 2**) e é adicionado à cerveja pois traz diferentes aromas resultantes do sinergismo de muitos compostos voláteis diferentes e *flavours* característicos^{31,32}. Os compostos não voláteis presentes no lúpulo contribuem para o sabor da cerveja³¹. A maior parte do lúpulo é processado sobre a forma de *pellets* ou extratos e adicionado desta forma à produção de cerveja¹⁹.

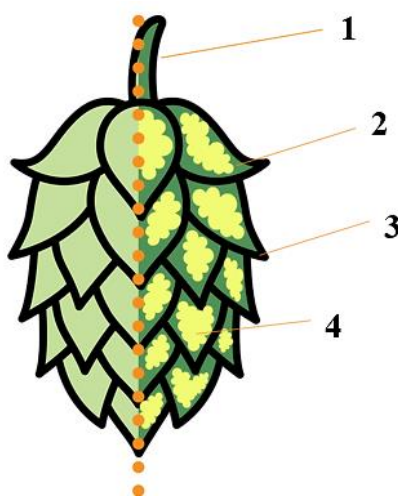


Figura 2-Morfologia de uma flor feminina de lúpulo. Adaptado da referência ⁹⁸.1- Raiz do cone de lúpulo; 2- Bractéola; 3-bráctea; 4- Glândulas lupulínicas.

A base do cone contém partículas amarelas denominadas de pólen que são constituídas por glândulas lupulínicas³². Essa estrutura engloba resinas e óleos essenciais que são os componentes mais importantes desta planta¹⁹. As resinas (**figura 2**) são constituídas por α e β - ácidos e uma série de produtos de oxidação e polimerização. O balanço entre os α e β - ácidos deve ser equilibrado para que as propriedades conferidas sejam elevadas³². Os α -ácidos também conhecidos como humulonas são insolúveis e quando ocorre a ebulição eles tendem a isomerizar formando iso- α -ácidos e isohumulonas, compostos mais solúveis em água^{19,32}. Estas substâncias amargas

aumentam a estabilidade da espuma, clareza e qualidade da cerveja final, para além disso elas inibem o crescimento de microrganismos^{2,19,32}.

Os óleos essenciais são volatilizados durante a fase de ebulição¹⁹ e dão um aroma característico da cerveja. Os compostos maioritariamente presentes são monoterpenos e sesquiterpenos que conferem propriedades antibacterianas à cerveja^{19,32}. O lúpulo é ainda constituído por polifenóis que representam 2 a 5 % da constituição total. Este grupo é dividido em quatro categorias: ácidos fenólicos, flavonoides, catequinas e antocianidinas. As propriedades dependem do grau de polimerização do composto³². Alguns polifenóis de alto e baixo peso molecular interagem por ligações com as proteínas formando partículas entre os 1 e 10 µm originando turbidez na bebida a longo prazo³³.

2.1.4. Levedura

A grande maioria das leveduras que se encontram implicadas no processo de fabrico da cerveja pertencem ao género *Saccharomyces*. Existem duas estirpes que são maioritariamente utilizadas neste processo a *S. cerevisiae* e um híbrido entre esta espécie e a *S. bayanus* originando *S. pastorianus*. A primeira é utilizada para fabrico de cervejas *ale* pois realiza uma fermentação alta, fermentam no topo do fermentador a temperaturas comparativamente superiores que se localizam entre os 18 e 25 °C produzindo cervejas com características mais frutadas e com aroma a flores enquanto que a segunda é indicada para o fabrico de cervejas *lager* pois efetuam uma fermentação baixa, fermentando no fundo do fermentador, a temperaturas entre 7 a 15 °C produzindo na cerveja um sabor distinto de banana, particularmente sulfuroso^{22,34}.

O metabolismo da levedura (**figura 3**) consiste no processo de crescimento da levedura que engloba a origem de novas células de levedura e corresponde a duas fases uma que corresponde à fermentação anaeróbia e outra à aeróbia³⁵. Na produção de cerveja o mosto é rico em açúcares fermentáveis entre os quais glucose, maltose, maltotriose e outros compostos com nitrogénio assimilável, minerais e vitaminas². No começo deste processo, as leveduras fazem uma respiração aeróbia que têm uma duração de cerca de 30 minutos após a inoculação na qual são incorporados nutrientes e os açúcares menos complexos (glucose, frutose, sacarose) do mosto. Quando o oxigénio termina, as leveduras realizam a fermentação alcoólica que ocorre no citosol com o intuito da produção de CO₂ e de etanol^{18,35}. Geralmente pode surgir o efeito de Crabtree que consiste numa fermentação anaeróbica mesmo na presença de oxigénio no meio, verificando-se este fenómeno quando a concentração de glucose é elevada e ultrapassa os 0,4 % pois, a

concentração de enzimas glicolíticas é muito elevada e ocorre uma produção de ATP mais acentuada por glicólise do que por oxidação fosforilativa³⁵. A qualidade das leveduras pode ser medida pela sua viabilidade e vitalidade (capacidade metabólica interna da célula)³². A viabilidade é referente à capacidade de as células crescerem e reproduzir-se no ambiente. A monitorização da viabilidade das células pode ser feita através do uso da utilização de um *software* que contabiliza a fluorescência das células ou através de um método mais simples e barato que consiste do corante azul de metileno permitindo a determinação de células viáveis não coloradas e de células não viáveis coradas. Segundo isto deve-mos de considerar a sua reutilização quando a percentagem de viabilidade > 92 %³⁶.

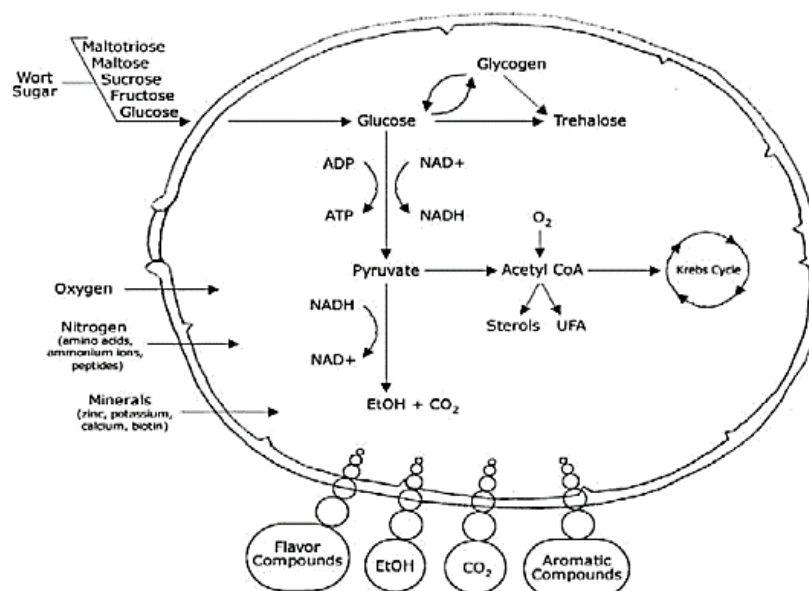


Figura 3-Metabolismo da levedura. Retirado de ⁴³.

A floculação das leveduras ocorre após a estas exercerem a sua função e corresponde há formação de aglomerados e flocos de células que se depositam no fundo da cuba. Este fenómeno processa-se através do mecanismo do modelo das proteínas do tipo lecitina onde ocorre a ligação das proteínas encontradas nas células das leveduras chamadas zimolecitinas (flocculinas) que estabelecem ligações das α -mananas com outras células de leveduras formando agregados (**figura 4**). Esta reação é mediada por cofatores como os iões cálcio que promove a maturação destas ligações e está envolvido na síntese de zimolecitinas. Cada estirpe de levedura possui um tipo específico de floculação e podem-se dividir na generalidade em três categorias, as leveduras de floculação alta (começam a flocular aos 3-5 dias), média (começam a flocular aos 6-15 dias), e baixa (começam a flocular a partir dos 15 dias). A estirpe de leveduras *ale* podem

flocular em cada uma das categorias, mas geralmente as estirpes de *lager* têm uma floculação média. Posto isto, as leveduras de floculação média são as que produzem cervejas mais claras pois reduzem mais compostos de diacetil e ésteres presentes no meio e as de floculação baixa são as que provocam mais problemas de filtração produzindo cervejas com maior turbidez. Cervejas do estilo trigo têm baixa floculação, produzidas com leveduras *S. cerevisiae* porque as leveduras possuem menor quantidade de manoproteínas nas suas paredes celulares o que promovem tempos de floculação prolongados ficando muitas vezes suspensas em solução^{34,37,38}.

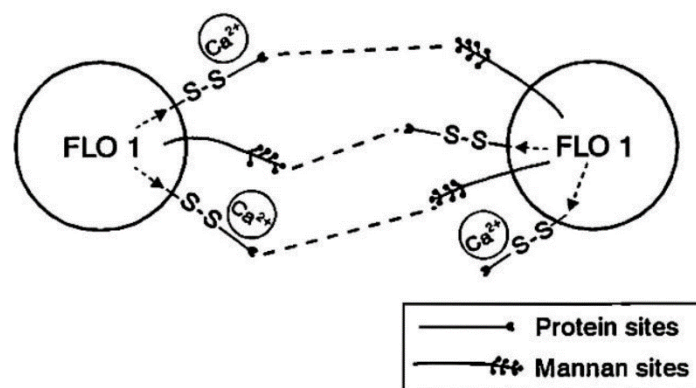


Figura 4- Mecanismo de floculação utilizado pelas leveduras. Retirado de¹⁰².

2.2. Produção da cerveja

2.2.1. Maltagem, Moagem e Brassagem

O processo de maltagem inicia-se com a fase do “steeping” que corresponde ao humedecimento da semente sendo que este é um ponto crítico pois vai influenciar a qualidade de germinação. Seguidamente processa-se a fase da germinação onde ocorre uma autólise da parede celular das células da aleurona controlada por hormonas internas de crescimento como ácido giberélico, ácido abísísico e ácido salicílico^{2,39}. Estas hormonas vão ativar enzimas, tais como, amilases, peptidases, β -glucanases que quebram locais de hidrólise para produção de mais enzimas que vão degradar as reservas de armazenamento produzindo açúcares, aminoácidos e gorduras^{1,27}. Nesta fase uma degradação incompleta de AX e de β -glucanas pode levar a problemas da viscosidade, fluxo e de filtrabilidade da cerveja⁴⁰. Na etapa final de dessecação e secagem os grãos são colocados numa estufa sujeitos a vários patamares de temperatura para reduzir o teor de humidade e atividade enzimática e permitir o seu armazenamento^{2,26}. Esta fase determina a qualidade do malte com a formação de algumas reações de Maillard e a produção de

melanoidinas, influenciando a estabilidade de aroma da cerveja^{1,2}. A presença de contaminações microbiológicas e fúngicas, na receção do grão como *Fusarium* spp., pode transportar bactérias que devido ao seu crescimento causam problemas de filtração, deterioração, turbidez e problemas de saúde relacionados com a libertação de micotoxinas^{2,10,34}.

Para produção de cerveja são usados maioritariamente os maltes base que têm maior carácter enzimático e possuem uma cor clara e maltes torrados na qual é aplicada uma temperatura de 180 a 220°C e torrado o grão até à cor desejada^{2,39,41}. Os maltes torrados são produzidos através de “*green malt*” que não sofreu a etapa de germinação (ex: malte de cristal, maltes de cara) ou preparados através de material seco em que ele é torrado na etapa de secagem (ex: maltes chocolate ou preto)⁴¹. Estudos com base em modelos matemáticos apontam que um aumento da torrefação dos grãos aumenta o rendimento do extração do grão maltado resultando em maior quantidade de açúcares e proteínas e polifenóis e consequentemente maior turbidez⁴².

No processo de fabrico da cerveja podem ser adicionados outros componentes não maltados na produção de cerveja como, arroz, milho, cevada não maltada, trigo e sorgo que podem ser designados de adjuntos. Estes conferem à cerveja uma fonte adicional de hidratos de carbono e proteínas e permitem a criação de bebidas inovadoras com novos aromas, cores e interferem com a estabilidade coloidal^{2,18}. Os adjuvantes derivados de trigo e cevada constituídos maioritariamente por diversas proteínas de alto peso molecular são precursores da estabilidade coloidal e da turbidez, devido à sua elevada quantidade de proteínas pois podem não sofrer proteólise durante a brassagem^{10,43}. O trigo também possui uma elevada quantidade de AX e polissacarídeos pertencentes à hemicelulose do grão, que produzem precipitados gelatinosos e viscosos e bloqueiam os filtros originando a problemas de filtração^{10,44}.

A moagem é um processo mecânico que permite a decomposição e fragmentação do grão de malte com a exposição do máximo de componentes presentes no endosperma^{2,19}. Para a execução desta fase é necessária a utilização de um moinho de rolos que contém 6 rolos de forma a manter as propriedades e a composição do grão. O malte é triturado entre os pares de rolos que com a velocidade certa permitem uma uniformidade do tamanho do grão ajustado para o processo². A maceração e flexibilidade de divisão do grão torna-se mais fácil quando este se encontra húmido^{2,19,18}. Esta etapa influencia a estabilidade coloidal². Nesta fase o tamanho da partícula é fulcral para o

desempenho e eficiência da mistura (água e malte). O menor tamanho da partícula afeta negativamente a taxa de escoamento reduzindo as taxas de filtração do mosto mas por outro lado um malte moído de forma mais grosseira permite uma separação mais rápida resultando em perdas de rendimento^{2,18}. Para além disso, o amido que não for totalmente extraído do grão não vai ser degradado por enzimas e provoca turbidez⁴⁵. As cascas devem de ser pouco degradadas pois originam uma filtração mais dificultada e a uma difícil permeabilidade do bolo filtrante, resíduos sólidos retidos no filtro após a filtração².

Seguidamente ocorre a brassagem que é um processo na qual os grãos de malte moídos secos são adicionados a água quente e é forçada a circulação do malte para manter a homogeneização de todo o conteúdo dentro da cuba⁴⁶. O objetivo final consiste na ativação de diversas enzimas que têm uma temperatura e pH ótimo de atuação e a degradação completa do amido a uma temperatura de 61 e 62 °C que resulta na formação de uma pasta gelatinosa². A viscosidade do mosto que está subjacente à quantidade de β -glucanas, polímeros com ligações $(\beta 1 \rightarrow 3)(1 \rightarrow 4)$ -D-glucose, e do seu grau de polimerização elevado^{47,48}. As β -glucanas proveniente da casca do grão moído aumentam a viscosidade do meio levando a um menor rendimento do extrato e formação de turbidez originando problemas de filtração³⁰. A β -amilase é a primeira enzima a atuar com temperaturas ótimas de 60 a 65°C e é uma enzima termolábil que fica inativa a temperaturas superiores a 70 °C e tem a capacidade de quebrar ligações do terminal não redutor levando a uma degradação mais lenta do amido e a obtenção de glucose e maltotriose^{2,19}. A α -amilase com temperaturas ótimas de 72 a 75 °C exerce a sua atividade quebrando ligações $(\alpha 1 \rightarrow 4)$ glucose de cadeias longas de amilose. O processo é terminado aumentando a temperatura até cerca de 80 °C para inativar todas as enzimas¹⁹. No final obtém-se glucose, dextrinas (oligossacarídeos provenientes da amilopectina de 4-9 unidades de glucose com ligações $(\alpha 1 \rightarrow 6)$ que não sofrem degradação enzimática) com um grau de polimerização maior que 10 resíduos de glucose, substâncias inorgânicas e alguns aminoácidos e proteínas^{19,49}. Se ocorrer interrupções prolongadas da temperatura ou aplicação incorretas da temperatura o amido pode não ser totalmente degradado formando turbidez⁴⁵. A temperatura de 70 a 75 °C durante um elevado período de tempo leva á produção de cadeias longas e médias de dextrinas limite pela inatividade da atividade das enzimas (nomeadamente a amidoglucosídase) a temperaturas superiores a 65°C. A grande quantidade de dextrinas limite vai fazer com que a sua insolubilidade

aumente e a etapa de filtração seja dificultada¹⁹. Um mosto com maior turbidez e com longos tempos de filtração levam a menor estabilidade coloidal².

2.2.3. Filtração e Ebulição do mosto

Na filtração do mosto a parte solúvel em água é separada da insolúvel e tenta-se recuperar o máximo de extrato possível⁵⁰. A solução insolúvel é geralmente designada por “dreche”, esta consiste em grãos ou cascas que se tornaram insolúveis após a moagem e depois precipitam durante a etapa de brassagem¹⁹. A taxa de filtração é controlada principalmente pela espessura grossa dos grãos e pela profundidade do leito. As cervejas com maltes modificados por influencia da temperatura e humidade vão sofrer um processo mais demorado de filtragem⁵⁰. Nesta fase as misturas mais turvas sujeitas a um maior tempo de filtração vão ter menos estabilidade coloidal provocada por coloides que possam passar para o extrato filtrado. No entanto, as últimas recolhas com lavagem de extrato devem ser evitadas, pois contêm mais polifenóis com alto nível de polimerização que aumentam a turbidez da cerveja².

A etapa seguinte é a ebulição do mosto onde ocorre a isomerização de compostos α - ácidos presentes nas resinas do lúpulo para estruturas mais solúveis iso- α -ácidos¹⁹. Durante este processo ocorrem alguns fenómenos entre os quais inativação de enzimas, esterilização do mosto, formação de precipitados de proteínas, arrastamento de compostos voláteis durante a ebulição e acidificação do pH do mosto filtrado^{2,19}. O lúpulo é adicionado nesta fase e são transformados e extraídos os seus compostos de aroma para o filtrado e simultaneamente algumas proteínas de maior peso molecular como isohumulona que podem precipitar¹⁹. O pH deve de permanecer neutro (5,0 a 5,5) pois vai ser fulcral para manter uma isomerização correta dos α -ácidos contidos no mosto e maior claridade do mosto, pois este determina a solubilidade e isomerização dos α -ácidos e a sua incorporação no mosto. Uma baixa solubilidade origina maior formação de turbidez^{2,31}. Nesta fase também se adiciona iões de cálcio que possibilitam a precipitação de proteínas sendo que, quando a sua quantidade é reduzida a precipitação em oxalato pode ser tardia e levar a problemas de turbidez⁴.

2.2.4. Decantação e Arrefecimento do mosto

A decantação é processo que consiste numa separação a quente para remoção de precipitados e outros materiais sólidos depois de fervura que corresponde ao excesso de proteína¹⁹. Este processo ocorre porque as leveduras têm temperaturas ótimas de atuação. Muitas cervejarias utilizam a *whirlpool*, onde ocorre o repouso do líquido mantendo um

fluxo rotacional que tem a duração de 15 a 60 minutos². Desta forma, entre o material depositado vamos encontrar partículas de “trub” quente constituídas por proteínas insolúveis, hidratos de carbono complexos, lípidos de cadeia longa e algum lúpulo^{50,51}. O tamanho das partículas varia entre 30 e 80 µm. Estas partículas vão influenciar a estabilidade coloidal (aroma e espuma) e por isso é essencial que a sua quantidade seja menor que 0,5 g/L⁵². A ligação de ácidos gordos a estas partículas “trub” faz com que a sua remoção seja mais rápida permitindo obter uma cerveja mais brilhante. Os lípidos insaturados, como o ácido linoleico e linolénico vão conferir à levedura a capacidade de fermentação mais rápida e um maior rendimento de fermentação e aumento da viabilidade da levedura e sua adequada reutilização⁵¹. Desta forma o mosto fica mais claro promovendo uma melhor filtração⁵².

O arrefecido do mosto (redução da temperatura) é feito através da passagem por um permutador de placas. O mosto ao ser arrefecido pode torna-se turvo por causa do intervalo de tempo curto de temperatura fria aplicada. No entanto, durante o processo e com a exposição ao meio (porque o tanque se encontra aberto) pode gerar alguma instabilidade biológica (risco do crescimento e esporulação de microrganismos) também se verifica se não ocorrer uma passagem rápida pelas temperaturas intermédias de arrefecimento¹⁹. Esta condição pode originar biofilmes como fontes de contaminação microbiológica em aparelhos e superfícies de equipamentos e aumentar a turbidez da amostra gerando problemas de filtração⁵³. Nesta fase ocorre igualmente o denominado “cold break” que se forma com o arrefecimento do mosto a temperatura de 60 °C e leva à formação de partículas com 0,5 µm de diâmetro que correspondem essencialmente a ligações entre proteínas, polifenóis e carboidratos¹⁹.

2.2.5. Fermentação e Maturação

A fermentação inicia-se com a inoculação das leveduras e estas vão entrar em contacto com os nutrientes presentes no mosto na cuba de fermentação^{2,35}. Quanto mais leveduras são adicionadas neste processo maior vai ser a turbidez da cerveja no final pois ocorre sempre uma maior suspensão de leveduras. Durante este processo são formados alguns subprodutos da fermentação com um efeito no aroma e sabor da cerveja e outras propriedades características como a amargor e espuma. Sendo que, a qualidade da cerveja é afetada pela levedura usada e os metabolitos que esta é capaz de produzir por isso, são registados parâmetros como o pH, a temperatura, a diminuição de cor pela escala de EBC, a contagem de células viáveis e o teor de CO₂. O pH final deve rondar os 4,3 a 4,6^{2,19}. A

diminuição do pH que ocorre gradualmente durante a maturação influencia o sabor e brilho da cerveja pois ocorre a ligação de proteínas à levedura permitindo uma maior limpidez da cerveja e uma menor turbidez ^{2,45}.

Os polissacarídeos resultantes no final desta fase como β -glucanas, AX e polímeros de mananas, associados às manoproteínas, são a principal razão para uma redução da taxa de filtração, interagindo entre si de acordo com a sua concentração na cerveja e formando um gel viscoso dependendo do tipo e peso molecular do polissacarídeo. Estes polissacarídeos têm uma tendência muito elevada para agregar em soluções mesmo que muito diluídas⁴⁰. As β -glucanas de tamanhos médios de 5 μ m pode formar agregados com tamanho superior a 50 μ m. No caso das AX os seus altos coeficientes de difusão podem levar à formação de agregados de 100 μ m. Os diferentes tamanhos dos agregados e as extensas estruturas ramificadas promovem a instabilidade coloidal⁴⁰.

2.2.6. Filtração, Carbonatação, Enchimento

A filtração é um processo que permite a remoção e separação de materiais suspensos na cerveja e de outros materiais potencialmente causadores de turbidez permitindo a sua estabilização^{43,2}. **(em detalhe no capítulo 2.3)**

A carbonatação é uma etapa feita para ajustar o teor de CO₂ presente na cerveja antes do seu engarrafamento e também diminuir o balanço de oxigénio presente na bebida uma vez que pode danificar a sua composição no armazenamento¹⁹. Este processo melhora a estabilidade coloidal e aumenta o tempo de vida útil da cerveja¹⁸. O enchimento pode ser feito em garrafas de vidro, latas de alumínio ou barris. Os equipamentos têm de se encontrar limpos e sem resíduos antes da transferência de cerveja para o interior da garrafa. Para manter os requisitos do aparelho de enchimento é necessária sua limpeza com utilização de temperatura alta e líquidos de limpeza fortes. Durante este processo deve de ser minimizado a quantidade de O₂ e as embalagens têm de impedir a fuga de CO₂ e entrada de O₂, conferindo resistência à deterioração da cerveja provocada pela luz e tenham a capacidade de suportar tensões mecânicas e quebras¹.

2.2.7. Pasteurização e Armazenamento

A pasteurização é um processo que tem impacto na estabilidade física, no sabor/aroma e na estabilidade biológica da bebida aumentando o seu tempo de vida útil⁷⁰. Neste processo são aplicados diferentes níveis de unidade de pasteurização (UP's) para

esterilizar o conteúdo no interior da garrafa, ou seja, uso de tempos e temperaturas específicas aplicadas e medidas ao longo de todo o processo^{1,70}. Este processo permite a inativação de enzimas e microrganismos relativamente sensíveis ao calor que causam deterioração microbiana e enzimática e alterações nas propriedades do alimento (sensoriais e nutricionais) que se encontram em barris ou garrafas⁵⁴. Os danos oxidativos vão provocar o envelhecimento da bebida e diminuição do tempo de vida útil¹⁸. O armazenamento é o passo final deste processamento e deve ser feito à temperatura de distribuição. A temperatura de armazenamento do barril deve de ser constante para prevenir o envelhecimento precoce, tendo impacto negativo no sabor da cerveja². No decorrer desta fase, os taninos, moléculas grandes polimerizadas de polifenóis, são capazes de formar interações iónicas com proteínas ácidas que formam a turbidez permanente⁵⁵.

2.3. Filtração da cerveja

O principal intuito da filtração é promover a clarificação da cerveja^{12,56}. Esta etapa é feita a uma temperatura que ronda os -1 °C e os 0 °C com a duração de 1-2 h⁴⁶. A remoção de materiais passa-se a dois níveis, na eliminação de partículas microbiológicas como restos de células de levedura, bactérias e outros microrganismos e eliminação de partículas não microbiológicas causadas principalmente por interações entre três grupos de polímeros, tais como, polipeptídeos, polifenóis e polissacarídeos (α e β -glucanas). Mas também podem incluir associações destas moléculas com lípidos e minerais (cobre) formando substâncias coloides^{2,12}. Com a remoção destas partículas precipitadas em suspensão pretende-se evitar que a bebida possua alterações visuais nomeadamente a turbidez após o seu armazenamento, garantindo assim maior estabilidade da bebida^{12,57,56}. A facilidade de filtração depende das propriedades e características da cerveja³⁷. No entanto é de salientar que os processos de filtração promovem a remoção de algumas características da cerveja, como a cor, amargor, adstringência e estabilidade da espuma⁵⁴. A teoria da filtração de acordo com a lei de Darcy permite estimar a taxa de filtração e define a filtração em termos matemáticos com base na sedimentação num dimensionamento e formato dos vários tipos de filtro^{23,58}. Através da seguinte **equação 1** é possível determinar o coeficiente de filtração/ caudal de filtração (Q) em $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ em que desta $\Delta P =$ Variação da pressão (Pa), $\mu =$ viscosidade do líquido ($\text{kg}.\text{m}^{-1}.\text{s}^{-1}$), $L =$ profundidade/espessura do filtro (m), $A =$ Área de superfície do filtro (m^2) e $\beta =$ Coeficiente de permeabilidade ($\text{m}.\text{s}^{-1}$)⁵⁹.

Equação 1

$$Q = \frac{\Delta P \times A \times \beta}{\mu \times L}$$

2.3.1. Tipos de filtração

Existem dois tipos de técnicas nas quais são classificadas a filtração (**figura 5**): filtração em profundidade e filtração de superfície, dependendo do local de separação sólida^{2,54,19}. A filtração em profundidade é um processo com uma taxa de separação elevada pois permite a filtração de partículas de menor tamanho¹⁹. Esta filtração processa-se a dois níveis no material de filtragem podendo ser utilizada para filtração de grandes volumes de cerveja². As partículas são suspensas e retidas com efeito de peneira mecânica dentro e uma estrutura espessa e complexa e além disso acontece o fenómeno de adsorção que ocorre pela diferença de cargas elétricas positivas e negativas entre o filtro e o material retido. Alguns exemplos são a filtração de folhas de velas e filtração de cartuchos. Contrariamente, a filtração de superfície encontra-se dependente da tecnologia da membrana, onde as partículas de maior diâmetro vão ficar retidas na superfície do filtro sendo que esta camada se torna cada vez mais espessa diminuindo o fluxo constante ao longo de todo o processo ocorrendo uma menor remoção da quantidade de partículas coloidais^{17,19,54}. Alguns dos exemplos são a utilização da filtração tangencial já que, esta filtração é utilizada para volumes menores de filtração de cerveja.

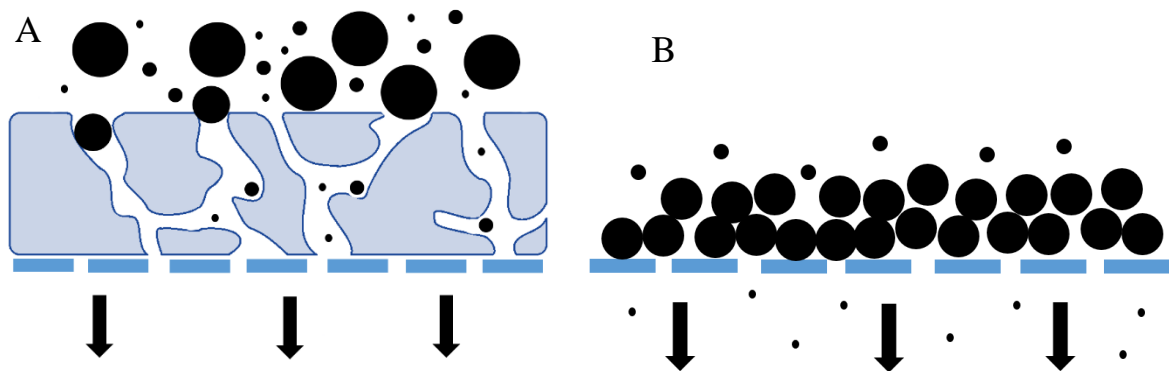


Figura 5- Filtração em profundidade (A) e filtração de superfície (B).

Na etapa da filtração é essencial existir uma escolha de corpos porosos e de membranas com base nas diferentes gamas e tamanhos de filtros. As membranas podem ser feitas de poliamida, poliacrilamida, polietileno e acetato de celulose sendo estes materiais bastante microporosos, ou seja, contêm poros interconectados com uma elevada área superficial e podem ser categorizadas de acordo com a utilidade e tamanho dos poros (**figura 6**) originando vários tipos de membranas operacionais seletivas que são

escolhidas de acordo com o que se pretende filtrar¹⁹. Estas membranas permitem a clarificação da cerveja, deixando seletivamente a passagem de pequenas moléculas dissolvidas no soluto com a retenção de moléculas que podem ter diversos tamanhos. Para isso são utilizadas membranas de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF) e nanofiltração (NF). As mais utilizadas devido à sua elevada eficiência são as de MF que permitem a retenção de partículas entre 0,02 e 10 µm. Posto isto são usadas principalmente para filtrar bactérias, leveduras e microrganismos bem como coloides suspensos na bebida e fornecer filtrados clarificados^{47,60}. O uso de membranas na filtração da cerveja reduz os custos, energia e o uso de reações químicas, reduzindo o impacto negativo causado pela pasteurização no sabor e promove o processamento da cerveja aumentando o seu prazo de validade e qualidade a longo prazo^{47,57}.

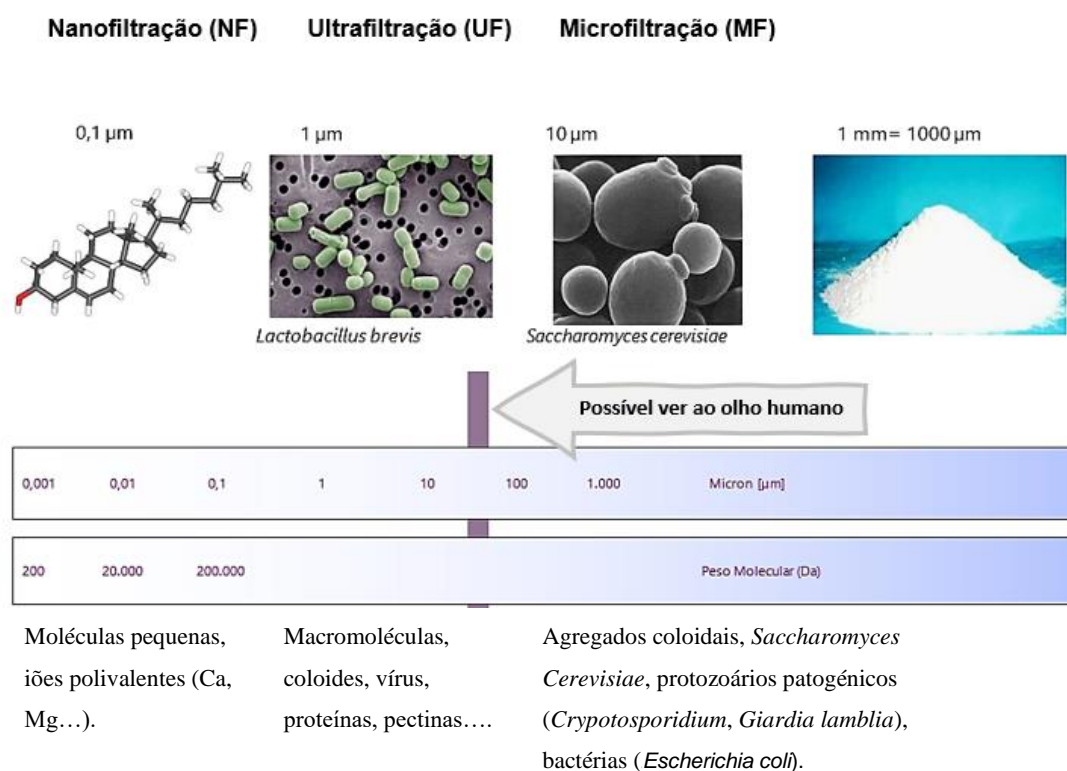


Figura 6-Tamanhos dos diferentes tipos de membranas. Adaptado da referência ⁵⁷.

No entanto estas membranas estão sujeitas ao entupimento por partículas coloidais com a deposição de uma elevada quantidade de agregados coloidais no filtro, isto ocorre devido ao tamanho das partículas na cerveja ser mais elevado do que o diâmetro do poro do filtro levando a que partículas de maior tamanho fiquem presas dentro dos poros e criando um bolo interno depositado nas paredes do filtro tornando a vida útil do filtro do sistema curta que compromete toda a filtração^{47, 57,58}. A formação de um bolo de filtração no próprio filtro obriga a uma maior resistência à passagem de cerveja sendo necessário

ser exercida maior pressão de maneira a que o fluxo de cerveja não diminua acentuadamente ao passar na membrana e ocorra a paragem da filtração⁵⁷. Por isso, estas são lavadas regularmente com ácidos pois é o procedimento indicado de limpeza na qual influencia a resistência da membrana¹⁹.

2.3.1.1. Filtração de Cartuchos

Os filtros de cartuchos estão disponíveis com uma grande variedade de filtros adequados a cada filtragem. Existem dois grandes tipos predominantes, os que utilizam materiais que combinados conferem elevada porosidade, tais como, anéis, discos e fitas e os filtros com forma cilíndrica contendo uma peça integral de placa porosa. Os filtros de cartuchos podem ser constituídos por materiais sintéticos poliméricos (polipropileno), por produtos naturais modificados baseados em celulose ou por materiais inorgânicos como cerâmicas (**figura 7**)⁶¹. Todos os filtros de cartuchos fazem a separação de acordo com o tamanho da partícula, existindo em variadas gamas. Por conseguinte, são utilizados principalmente para limpeza e clarificação da cerveja de partículas suspensas com níveis de concentração inferiores a 10 ppm na cerveja. Estes filtros são incorporados num *housing*. O *housing* é uma estrutura com a possibilidade de encaixar um ou mais filtros de forma a possuir um sistema duplex ou triplex permitindo uma filtração simultânea⁶¹. O uso de vários filtros em paralelo apresenta-se como uma vantagem pois permite a lavagem ou substituição de um filtro enquanto outra unidade de filtragem se encontra em funcionamento, possibilitando uma filtração feita de forma rápida e eficaz^{11,50,61}.



Figura 7- Esquema de um filtro de cartuchos. Retirado de¹⁰⁶.

Neste tipo de filtros pode-se considerar a eficiência de um filtro como um aspeto importante a ter em consideração. Esta eficiência corresponde à retenção percentual de partículas pelo filtro. Os filtros de cartuchos são classificados de acordo com a sua eficiência apresentando um valor nominal ou absoluto. Um filtro com um valor nominal de 80 a 90 % é descrito como eficiente para um determinado tamanho de partícula. A

classificação absoluta pode indicar níveis de retenção entre os 98 e 99,99 % de eficiência, ou superior⁶¹.

A lavagem dos filtros é controlada através da pressão diferencial entre as válvulas de entrada e saída dos filtros¹¹. Sendo feita um fluxo na direção inversa da filtragem de cerveja permitindo uma maior remoção de partículas do filtro. A vida útil do cartucho é afetada tanto pelo material filtrado como pelas sucessivas lavagens agressivas do cartucho. A duração média de um filtro de cartuchos varia com o tipo de cerveja filtrada e com a limpeza do filtro sendo que quanto maior o volume a filtrar maiores são os custos associados ao uso destes tipos de filtros, tornando-se um método dispendioso⁵⁴.

O seu modo de funcionamento (**figura 8**) corresponde à passagem do líquido sob pressão pelo *housing* com o filtro de cartuchos disposto na vertical e o líquido flui através da camada porosa presente na superfície do filtro e sai pela parte inferior do filtro. Com a utilização de filtros de diferente diâmetro de poro primeiro são removidas partículas de maiores dimensões e posteriormente as de menor dimensão⁶². A natureza fina da superfície, juntamente com os tamanhos de poros grandes, facilita grandes fluxos volumétricos através dos cartuchos pequenos⁵⁹. Os sólidos ficam capturados entre a camada porosa superficial que permanece no filtro formando um bolo poroso enquanto o filtrado líquido passa através do pano^{11,58}.

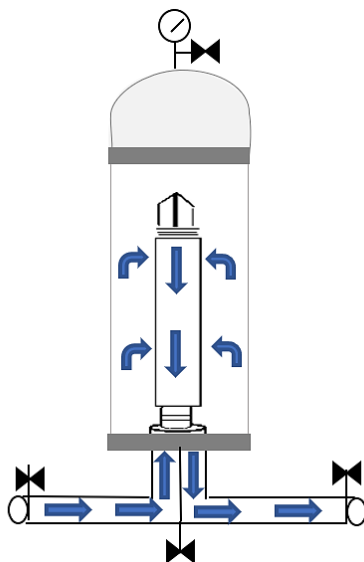


Figura 8- Esquema representativo do modo de operação normal do filtro de cartuchos.

Nas empresas de larga escala geralmente é utilizada uma filtração estéril que consiste na passagem da cerveja por um filtro de cartuchos de diâmetro de poro $0,45\ \mu\text{m}$ de forma a garantir a total remoção de bactérias (efetivamente esterilidade para o

fabricante de cerveja) antes do enchimento^{58,54}. Este processo utiliza volumes compactos que podem resultar numa consequente diminuição do fluxo e da filtrabilidade¹⁹.

2.3.1.2. Filtração com terra de diatomáceas

Nas cervejarias é frequente o uso de auxiliares de filtração para realizar a etapa da filtração⁵⁰. Um filtro auxiliar pode ser utilizado como pré-revestimento do filtro para garantir a eficiência da filtração desde o começo desta forma, garante-se a integridade impedindo que os sólidos bloqueiem o filtro e permite-se uma remoção mais fácil do bolo de partículas após a filtração^{2,61}. Geralmente são utilizados pastas ou pós, tais como, perlite (vidro vulcânico), fibras de celulose e terra de diatomáceas (KG) que formam filtros altamente porosos e incompressíveis e suportam a construção do aprisionando das partículas^{2,50,54}. Os bolos de partículas são compressíveis, ou seja, verifica-se que a porosidade do bolo diminui acompanhado de uma descida de pressão ao longo do filtro, isto é um dos grandes problemas pois causa taxas reduzidas de filtração e perdas de produto⁵⁸. Um processo de filtração otimizado para um filtro auxiliar é capaz de remover uma grande maioria das partículas com tamanho superior a $0,5\ \mu\text{m}$ ⁵⁴.

A utilização do KG é muito frequente no processo cervejeiro^{50,54}, atribuindo-se a denominação terra de diatomáceas devido à sua composição por fósseis ou esqueletos microscópicos de algas de água doce/salgada conhecida como diatomáceas que quando morrem estas afundam e formam depósitos que são extraídos, processados através da granulação das rochas estratificadas e classificados por tamanho para dar KG de vários tamanhos⁵⁰. Apenas 15 % do volume total é composto por estes fósseis e o resto são espaços vazios, conferindo-lhe uma elevada porosidade, permitindo assim o fluxo relativamente livre da cerveja^{50,54,58}. O uso deste tipo de filtração diminui os custos de produção e aumenta a qualidade do produto final a nível da estabilização coloidal e da claridade elevada da cerveja. Estes efeitos devem-se ao facto da elevada porosidade do KG e das características estruturais que este filtro possui não sendo reproduzíveis a nível industrial com filtros artificiais^{50,54}.

A composição química do KG é maioritariamente constituída por sílica juntamente com os seus outros constituintes (**tabela 2**) pois este apresenta algumas desvantagens entre as quais, os seus perigos para a saúde que ocorrem por inalação de poeira na sua forma seca e devido à elevada concentração de sólidos orgânicos tornando dispendioso o seu tratamento em aterros sanitários^{17,50}. Em termos de qualidade, é

necessário dimensionar as dosagens em relação à quantidade de sólidos filtráveis sendo que, o uso de KG permite o contacto das impurezas que compõem a sua estrutura de sílica e que solubilizam na cerveja permitindo a migração dos seus iões, maioritariamente metais de transição fazendo com que haja um aumento das concentrações de ferro, arsénio e níquel dissolvido^{50,59}.

Tabela 2-Composição química do Kieselguhr. Adaptado da referência ¹⁶.

Substância	Formula química	Fração % no <i>Kieselguhr</i>
Dióxido de silício (sílica)	SiO ₂	80,0 -99,0
Óxido de magnésio	MgO	0,5 -3,0
Óxido de alumínio	Al ₂ O ₃	0,1 -6,0
Óxido de potássio	K ₂ O	0,5 – 3,0
Óxido de ferro	Fe ₂ O ₃	<3,0
Óxido de cálcio	CaO	0,5 -2,0
Óxido de sódio	Na ₂ O	0,5 -3,0
Óxido de titânio	TiO ₂	0,5 -3,0

Relativamente à unidade de filtração existem diversos tipos de estruturas e estes podem ser divididos em filtros de placa/estrutura, de folha ou de vela⁵⁰. Os filtros de placas são compostos por um número arbitrário de placas (6-10 para uma estrutura de uma microcerveja) fixadas numa estrutura de maneira alternada, as placas são revestidas com auxiliares de filtração e são permeáveis dos dois lados. A cerveja atravessa a placa de filtração para um canal interno e é exportada como filtrado. O filtro em folha consiste na disposição de placas, folhas circulares de aço inoxidável, horizontalmente ou vertical ocorrendo a filtração através da superfície da folha. Os filtros mais comuns contêm uma área de folha 1,50 m para permitir uma área de filtração de 150 m². Os filtros de vela (**figura 9**) são estruturas de aço inoxidável dispostas verticalmente formado por velas porosas permitindo a filtração da parte exterior do filtro para dentro do filtro². As velas têm normalmente um diâmetro de 20-35 mm com um comprimento máximo de 2,5 m podendo atingir uma área de superfície de filtração de 180 m².

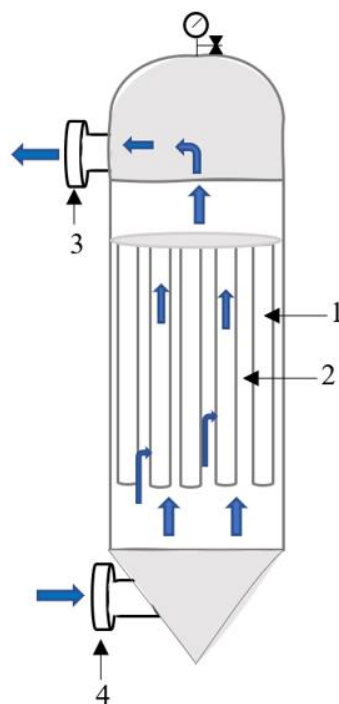


Figura 9- Constituição de um filtro de vela aplicado na filtração de terras de diatomáceas. 1- Tubos de vela; 2- Espaço entre os tubos para o filtro auxiliar; 3- Válvula de saída do produto; 4- Válvula de entrada do produto.

De forma a obter a filtração ajustada é necessário a utilização de três camadas de KG^{19,50}. A dosagem de cada uma das camadas é aplicada de acordo com a prática do mestre cervejeiro e com base nos critérios analíticos da cerveja pretendida sendo que a quantidade de sólidos presente na cerveja deve de ser inferior a 0,2 % para utilização deste método de filtração^{2,50}. A remoção de partículas é feita de acordo com a porosidade da membrana criada na superfície de filtro⁶³. Cada uma das camadas corresponde à mistura de diferentes granulometrias de terras de diatomáceas misturadas num recipiente. As pré-camadas depois de preparadas são lançadas para o filtro de velas e o líquido passa através do filtro e as terras ficam agarradas à superfície do filtro de forma uniformemente distribuída permitindo a formação de uma camada filtrante^{50,64} (**figura 10**). As primeiras duas pré-camadas correspondem ao pré-revestimento do filtro que permitem a formação de um bolo de até 100 mm de espessura na superfície de filtração e são compostas por quantidades de material de filtro (principalmente KG, perlite, celulose,...)^{2,61}. Estes são elementos importantes para a construção das posteriores camadas atribuindo elevada rigidez ao filtro como é o caso da celulose^{19,50}. Posteriormente é continuamente adicionado uma quantidade de terras correspondendo à última camada, a camada contínua e filtrante². Nesta etapa é fornecido ao longo da filtração uma mistura de terras controlada através do doseamento com uma bomba. Por isso, o bolo de filtração é mantido numa

quantidade permeável com uma taxa de fluxo um determinado tempo de filtração, permitindo também que a superfície de filtração seja continuamente regenerada^{50,64}. Durante todo o processo de filtração deve de ser mantido um fluxo constante¹⁹. Uma camada de filtração estável permite uma alta eficiência e captura de impurezas. À medida que a filtração decorre a superfície do filtro aumenta devido à deposição de quantidades crescentes de impurezas e terras aumentando o tempo de filtração para o volume que se pretende filtrar⁶⁴. Este sistema de filtração não pode ser utilizado sem a existência de pré-camadas⁵⁰.

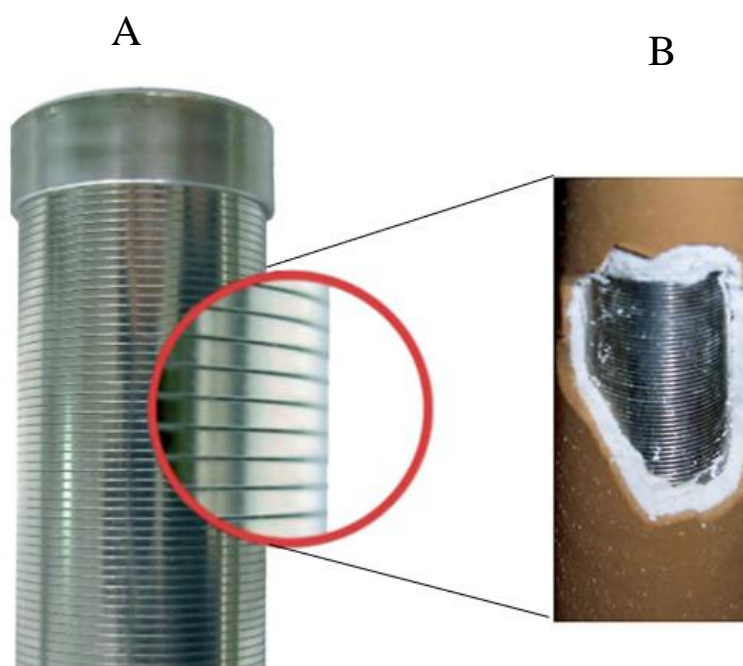


Figura 10- Imagem do filtro de vela (A) das pré- camadas do filtro de terras (B). Adaptado da referência ⁶⁷.

A dosagem de terras envolve a mistura de terras de diferentes granulometrias e deve de ser ajustada para cada tipo de cerveja sendo que os tamanhos das partículas determinam as características da estrutura de filtração e a turbidez obtida quando a cerveja é filtrada pela estrutura. Desta forma, partículas de terra mais fina permitem um fluxo menor porque a porosidade do bolo vai ser menor mas por outro lado a turbidez vai aumentar, o inverso acontece com terras com uma superior granulometria ⁶⁵. De acordo com a dosagem estabelecida para a filtração de cada tipo de cerveja podemos filtrar partículas $>1 \mu\text{m}$ por exemplo, levedura, proteínas coaguladas e microrganismos que geram uma turbidez macroscópica visível, partículas coloidais $<1 \mu\text{m}$ constituídos por complexos de proteínas - polifenóis e visíveis apenas através da luz refratada e partículas

<0,1 µm como vírus, iões, compostos orgânicos e moléculas, que não são visíveis e ainda se encontram na cerveja⁶⁶.

2.3.2. Estabilidade da cerveja

A estabilidade da cerveja divide-se principalmente em três predominantes, a estabilidade microbiológica, estabilidade coloidal, e estabilidade de aroma⁶⁷. Estes parâmetros têm de ser mantidos de maneira a promover qualidade do produto final. Algumas das substâncias coloides que põem em causa a estabilidade coloidal são os complexos formados entre proteína- polifenol (**figura 11**) que correspondem a partículas do tamanho de micrómetros e que são responsáveis pela formação do “*chill haze*”^{55,54}. Segundo o modelo estudado por Siebert⁶⁸ assume que apenas as proteínas hidrofílicas ácidas que contêm o grupo prolina na sua constituição péptica são capazes de formar turbidez na cerveja pois estas contêm duas extremidades de ligação que formam ligações de hidrogénio e ligações hidrofóbicas reversíveis com polifenóis dos dois lados da molécula, originando agregados de partículas^{10,69,70}. Esta hipótese apresentada Siebert⁶⁸ pode ser explicada através de estudos onde se aumentava a concentração de polifenóis e manteve-se a quantidade de proteínas e o resultado indica um ponto de turbidez máxima o que representa que todas as ligações existentes nas proteínas estavam conectadas com polifenóis. O mesmo verifica-se quando se aumenta as concentrações de proteína provando então que o fenómeno em ambas as situações ocorre dispersão de luz e a quantidade de turbidez é determinada pelo tamanho destes agregados⁷¹.

De forma a promover a estabilidade microbiana devem de ser aplicados procedimentos que visam reduzir a contaminação bacteriana da bebida pois pode surgir a criação de biofilmes de microrganismos que influenciam características sensoriais e qualidade final da cerveja^{34,54,67}. Esta estabilidade pode ser encurtada por fatores como um armazenamento a quente, movimento contínuo, introdução de ar no processo principalmente após filtração e enchimento, operações sem limpeza. Qualquer microrganismo pode multiplicar-se e excretar produtos metabólicos¹⁹. Com a etapa de filtração são removidos restos de levedura e algumas bactérias anaeróbicas como *Pectinatus*, *Megasphaera* e bactérias de ácido láctico que levam à deterioração a longo prazo e contribuem para o aumento do caráter ácido da bebida⁵³.

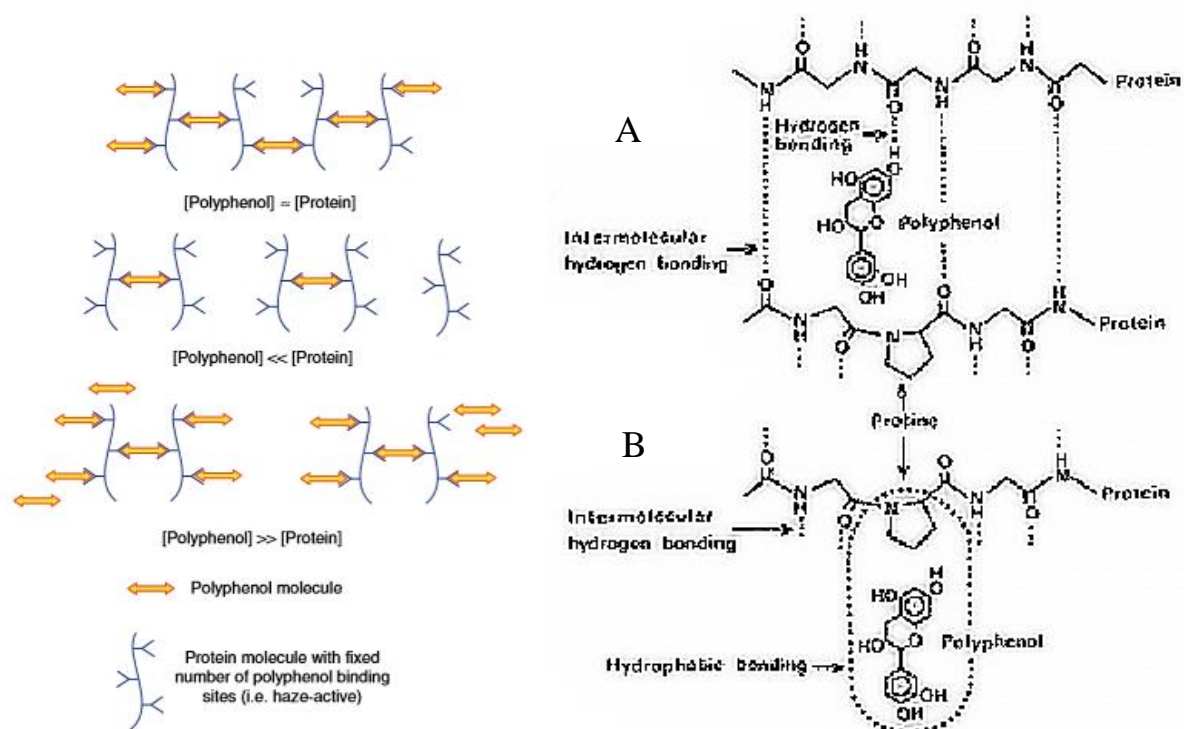


Figura 11 - Esquema representativo de como se processam as interações que ocorrem entre proteínas e polifenóis. Adaptado das referências ⁴⁵ e ⁷². A- Ligações por pontes de hidrogénio; B- Ligações por interações hidrofóbicas.

De forma a promover uma estabilidade do aroma é necessário minimizar os níveis de oxigénio presentes na bebida (limite crítico de 0,2 ppm) pois levam ao aparecimento de moléculas com grupos carbonilo e o impedimento da acumulação de iões metálicos monovalentes e divalentes como ferro e cobre que realizam reações de oxidação-redução nomeadamente na filtração, pois estes vão reagir com compostos *flavour*-ativos (como aldeídos) que conferem aroma à cerveja criando turbidez e interferindo com a estabilidade na bebida⁷³. Os sais de ferro superiores a 2 mg/L têm efeito negativo na desaceleração da sacarificação na etapa da brassagem resultando num mosto mais turvo e atividade da levedura reduzido sendo que, numa concentração superior a 1 mg/L origina a oxidação de taninos causando problemas de turbidez⁴. A quantidade de cobre deve de ser inferior a 0,1 mg/L originando um efeito de catalisador de oxidantes causadores de turbidez⁴. Esta estabilidade é principalmente reduzida com o tratamento térmico da cerveja⁵⁴. A claridade da cerveja juntamente com o aroma e a espuma são fatores que avaliam a qualidade da cerveja¹⁹.

2.3.3. Parâmetros qualitativos da cerveja que exercem influência na filtração

2.3.3.1. Turbidez

A clareza da cerveja é um fator importante que influencia as preferências do consumidor⁷⁴. A formação de turbidez e névoa da cerveja pode ser desencadeada por diversos fatores como proteínas (partes orgânicas mais comuns (40-75 %)), hidratos de carbono (β -glucanas, AX e de amido não degradado) (2 a 15 %) polifenóis, ácidos gordos e nucleicos que comprometem a qualidade visual e organolética da cerveja^{12,45}. A partícula contém diferentes diâmetros e são divididas em classes de coloides da cerveja (**tabela 3**) que podem posteriormente precipitar e formar agregados de tamanhos diferentes que se misturam com células de levedura e bactérias formando ligações de hidrogénio com outras moléculas, tais como, polímeros de manose^{38,45,30}. Estes constituintes de turbidez levam à incrustação da membrana de filtração dificultando o fluxo de cerveja⁷⁵. Durante a filtração ocorre uma remoção destes compostos onde podemos promover uma estabilização coloidal da cerveja².

Existem dois tipos de turbidez que podem ser causadas pelo armazenamento a frio (“*chill haze*”) e pelo envelhecimento com a idade, que origina uma turbidez permanente⁴⁵. O “*chill haze*” manifesta-se a uma temperatura que se encontra nos 0 °C ou menores mas redissolve-se quando a temperatura ascende aos 20 °C^{23,76}. Esta turbidez é caracterizada como uma turbidez dispersa a frio com tamanhos de partícula entre 0,1 e 1,0 μm e é resultado de ligações covalentes de hidrogénio entre proteínas e polipéptidos de alto peso molecular com polifenóis altamente condensados e polimerizados (predominantemente taninos) formando agregados insolúveis que podem estabelecer ligação (ligações de hidrogénio e hidrofóbicas) com outras partículas coloidais dissolvidas, tais como, alguns hidratos de carbono e compostos inorgânicos^{9,76}. Estes agregados dissolvem-se durante o aquecimento⁴⁵. Durante o armazenamento devido à exposição ao oxigénio a turbidez torna-se permanente, não ocorrendo dissolução dos compostos porque se estabelecem ligações iónicas muito mais fortes e o grau de polimerização dos polifenóis é mais elevado⁵⁵. O tamanhos de partículas varia entre 1 a 10 μm , fazendo com que a cerveja não seja comercialmente aceitável influenciando desta forma o prazo de validade das cervejas engarrafadas²³.

Tabela 3-Classes de colóides presentes na cerveja. Adaptado da referência ⁷⁹.

Classes	Exemplos	Diâmetro da partícula (µm)
Partículas	Leveduras	5
Colóides	Agregados de polifenóis e proteínas de elevado peso molecular	0,5-2,0
Macromoléculas	Proteínas, hidratos de carbono	0,4

A turbidez é um parâmetro quantitativo que pode ser medido através de um turbidímetro com uma análise gravimétrica de acordo com a Lei de Lambert's que se baseia no princípio que uma suspensão com um precipitado colorido é atravessada por um feixe de luz, a quantidade de reflexão da luz proporcionada pela amostra é captada num ângulo de 90° sendo esta medida proporcional à turbidez²³. Existe uma grande dispersão substancial da luz nesse ângulo por partículas extremamente pequenas não visíveis ao olho humano⁷⁶. Os resultados podem ser obtidos diretamente através do aparelho em FTU (Unidades de Turbidez de Formazin) e convertidos nas restantes unidades de turbidez como NTU (Nefelométrica de Turbidez), EBC e ASBC (*American Society of Brewing Chemist*) através da seguinte proporção 1 NTU = 1 FTU = 0,25 EBC = 17,5 ASBC²³.

2.3.3.2. Teor de carboidratos

Os açúcares fermentáveis contribuem diretamente para a doçura da cerveja⁷⁷. Como a maioria dos açúcares simples é transformada em etanol pela levedura durante a fermentação, a maioria dos carboidratos presentes na cerveja são oligo- e polissacarídeos⁷⁸. Sendo que, cerca de 80 % desses carboidratos são representados por moléculas que contêm 4-20 resíduos de glucose e cerca de apenas 20 % têm mais de 20 resíduos⁷⁹. O conteúdo total de hidratos de carbono das cervejas *lager* e *ale* varia entre 10-30 e 15-60 g/L, respetivamente⁷⁷. Dentro dos carboidratos temos os de elevado peso molecular que sobre certas condições podem impedir a eficiência da filtração⁷⁹. A quantidade de AX, α -dextrinas limite com resíduos de glucose ramificados em ligações ($\alpha 1 \rightarrow 4,6$) glicosídicas em quantidades residuais e β -glucanas originam problemas de precipitação no decorrer da filtração, e consequentemente a incrustação de algumas membranas devido à sua retenção nas fibras da membrana, para além de estabelecerem ligações com proteínas e polifenóis sendo os principais percursos da turbidez na

cerveja^{77,79}. Devido ao seu elevado peso molecular, superior a 10^6 Da ocorre uma menor filtrabilidade bem como a formação de partículas suspensas durante o armazenamento. Com a utilização da filtração podem ser reduzidas ligeiramente as quantidades destes açúcares na cerveja⁷⁹.

A análise mais detalhada dos carboidratos envolve a análise por cromatografia em fase gasosa ou em fase líquida, mas este pode ser medido menos especificamente através da medida empírica dos sólidos solúveis (denominado de °Brix) onde 1 °Brix corresponde a 1 % (% m/m), ou seja, 1g de sacarose em 100 g de solução⁸⁰. A determinação do grau de °Brix numa bebida é medida através de um refratômetro ótico com um intervalo de medição entre os 0-32 graus de °Brix podemos determinar a quantidade de sólidos solúveis totais dissolvidos como indicativo do teor de açúcar^{78,81}.

2.3.3.3. pH

O pH tem um papel fundamental na formação da espuma e na estabilidade coloidal da cerveja⁷⁸. Este parâmetro torna-se importante para diminuir o risco de contaminação microbológica, por isso, o pH deve permanecer inferior a 4,4 permitindo que exista um balanço microbológico apropriado na bebida⁷³. Para além disso, as proteínas mais próximas do seu ponto isoelétrico possuem cargas negativas e positivas equilibradas uma vez que a sua carga se torna neutra, por isso, estas tendem a ser mais estáveis e diminuir as forças eletrostáticas de repulsão aumentando as de atração causando agregação e precipitação levando à formação de filmes viscosos^{78,82}. A precipitação destas proteínas desenvolve-se a pH inferiores entre 4,2-4,4 provocando turbidez na bebida e problemas de filtração⁷¹.

2.3.3.4. Viscosidade

A viscosidade é definida como a resistência ao fluxo de cisalhamento dentro de um líquido. Isto pode ser medido como o tempo gasto para fluir o líquido através de um orifício²³. Quanto maior a viscosidade mais denso é o líquido, levando a problemas durante a filtração dado que, a viscosidade de um fluido depende sempre da temperatura⁷⁶. A viscosidade elevada verifica-se a valores superiores 2 mPa/s sendo causada pelo elevado teor de macromoléculas presentes, AX, β -glucanas provenientes do grão com ligações mistas ($\beta 1 \rightarrow 3$) e ($\beta 1 \rightarrow 4$), α -glucanas e amido residual, polissacarídeos de levedura como ($\beta 1 \rightarrow 3$) glucanas, ($\beta 1 \rightarrow 6$) glucanas e manoproteínas constituídas por 89-96 % resíduos de manose formando uma cadeia curta altamente ramificada através de

ligações (1→2,6) de manose e alguns ácidos, com origem nos α -ácidos do lúpulo, que possam não ter sido isomerizados afetando a filtração^{2,23,50,84}. Desta maneira, quanto maior a quantidade destas moléculas presente na cerveja a filtrar maior é a viscosidade da solução o que resulta em problemas de filtrabilidade resultantes de uma diminuição do fluxo constante³⁰.

A unidade de viscosidade é baseada na referência da água, em que esta tem uma viscosidade de 1 centipoise (cP) a 20°C, sendo que pode ser convertido: 1P = 100 cP = 1 g/m*s = 0,1Pa*s⁷⁶. É determinada através de um viscosímetro em que os valores são apresentados em cP^{30,85}.

2.3.3.5. Temperatura e Pressão

Após a maturação e durante processo de filtração deve de ser utilizada uma temperatura menor que 1 °C, idealmente -1 °C para permitir a sedimentação da levedura utilizada no processo de fermentação e outras partículas, tais como, proteínas de elevado peso molecular e β -glucanas permitindo uma separação de fases mais eficaz, contribuindo para a melhoria da turbidez e filtração da cerveja. O declive acentuado e rápido da temperatura pode levar à formação de agregados que comprometem a comercialização da cerveja, por isso devem de ser utilizados patamares de temperaturas baseadas através do controlo do processamento^{50,63,86}.

O CO₂ é um gás que se dissolve com elevada facilidade na cerveja proporcionando muitos dos seus atributos sensoriais. A unidade utilizada é o V/V onde 1 L de CO₂ corresponde a 1 L de cerveja. A sua concentração na cerveja comercializada deve se encontrar entre os 2,4 e 2,9 V/V (4,76 e 5,75g/kg)⁷⁶. O CO₂ é utilizado no processo de filtração como contrapressão para mover a cerveja passando da cuba de maturação e passando por todo o processo de filtração. O tanque deve de ser pressurizado para evitar o contacto da cerveja com o O₂²³. A solubilidade do CO₂ está dependente da pressão e da temperatura. Quanto mais baixa a temperatura mais solúvel é o CO₂ e o aumento da pressão. Por outro lado, quando o CO₂ se encontra numa concentração superior 11 % vai influenciar negativamente a cerveja como produto final pois forma um filme de bolhas de gás que permite a formação de excessiva quantidade de espuma².

2.3.3.6. Teor de proteínas

As proteínas responsáveis pela formação de agregados coloidais encontram-se presentes na cerveja antes da filtração num intervalo de concentração de 48 % - 57 % sendo que, estas proteínas que possuem elevado peso molecular estabelecem ligações de interação hidrofóbica com polifenóis causando turbidez^{76,79,87}. As proteínas são fortemente glicadas e coaguladas durante o processo de ebulição sendo que, depois no processo de fermentação e maturação sofrem processos de agregação⁸⁸. Estas proteínas associadas a carboidratos, com glucose contribuem para cerca de 3-7 % da proteína total em toda a cerveja e possuem pesos entre os 10 a 46 kDa provenientes das proteínas hordeína encontradas no grão de cevada e com um ponto isoelétrico ácido entre 5,1 e 5,5. Estas proteínas pertencem essencialmente a famílias de proteínas gliadina, albumina, globulina e glutelina contendo grande quantidade de grupos de aminoácidos glutamina e a prolina^{9,29,78}. Basta a existência de 2 mg/L destas proteínas para que a turbidez aumente na escala (2-27) de EBC uma unidade¹⁰. Na filtração, são removidas proteínas de elevado peso molecular e causadoras da estabilidade coloidal sendo que as responsáveis pela estabilidade da espuma permanecem na cerveja³³. A capacidade e remoção das proteínas é elevada usando o KG o que aumenta a estabilidade coloidal³².

2.3.3.7. Teor de polifenóis

As cervejas podem diferir na sua quantidade de polifenóis devido principalmente as diferentes matérias-primas utilizadas no processo. Em média as cervejas possuem 100 - 300 mg/L de polifenóis que representa 11-26 % de agentes taninos na cerveja^{10,76}. Os polifenóis podem pertencer a duas classes, os primeiros são os flavanóis e o segundo grupo são derivados dos ácidos fenólicos como ácidos hidroxibenzóico e hidroxicinâmico, (**figura 12**). Sendo que os primeiros representam 10 % dos polifenóis totais e são os principais responsáveis pela instabilidade coloidal¹⁰. Os flavanóis, oligómeros de flavonoídes como por exemplo, flavonol e flavanol são os principais causadores da turbidez inicial na cerveja estabelecendo ligações com proteínas e hidratos de carbono^{9,33}. O equilíbrio entre polifenóis e proteínas determina a estabilidade coloidal da cerveja⁹. O grau de polimerização e o peso molecular influenciam este processo sendo que, oligómeros de flavanóis como prodelfinidina B3 e procianidina B3 contribuem para uma maior formação da turbidez⁸⁹. A oxidação dos polifenóis resulta na associação de unidades individuais de taninos (polimerização) que formam agregados maiores e que se associam a proteínas para formar partículas insolúveis⁷⁸. As proantocianidinas, dímeros

e trímeros de catequina, epicatequina e galocatequina são os principais precursores de formação de turbidez (“*chill haze*”) na cerveja originando problemas de filtração associam-se a proteínas e péptidos dificultam a filtração^{71,90,91}.

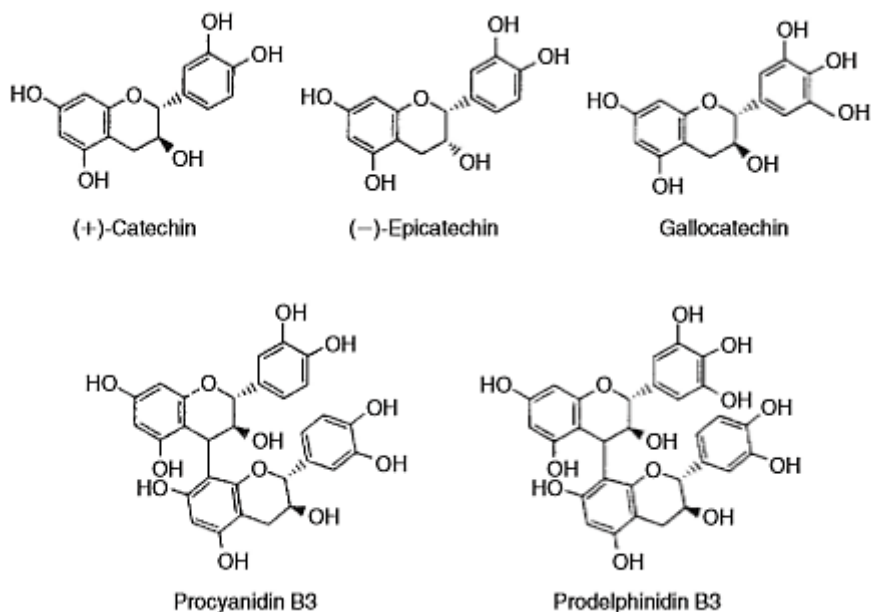


Figura 12- Flavonol e seus derivados presentes na cerveja. Retirado de ⁹.

2.3.3.8. Concentração de Leveduras

A cerveja normal antes da filtração contém cerca de 1 a 10 milhões de células de levedura por mL, ficando em suspensão cerca de 1 % das células de levedura na cerveja⁶³. Este processo é facilitado devido à maior parte das leveduras após a fermentação flocularem e ficarem depositadas no fundo do tanque não ocorrendo uma deposição total sendo necessário as retirar por clarificação^{12,92}. As células de leveduras e os agregados que se encontram presentes no líquido devem de ser removidos ao serem filtrados^{57,67}. Por possuírem uma carga negativa geral acentuada enquanto estas se encontram vivas ficam mais retidas nas fibras do filtro devido ao fenómeno de adsorção^{23,50}. Por isso, algumas leveduras e bactérias não conseguem penetrar o filtro e ficam retidas no bolo de filtração²³. A utilização da filtração remove um máximo de 5×10^8 células de levedura por cada 100 mL o que representa um fator de redução de 10^3 a 10^4 na cerveja filtrada, dependendo da capacidade do filtro em reter partículas este fator pode ser total no caso da utilização de uma membrana de esterilização $<0,45 \mu\text{m}$ ⁶³.

2.3.3.9. Oxigénio dissolvido

O oxigénio deve de ser restrito após a maturação e durante o processo de filtração. A quantidade de oxigénio altera-se de acordo com tempo de filtração e a temperatura da cerveja. Sendo que no início da filtração deve corresponder a gamas de 5-20 ppb e quando filtrado deve de estar dentro da gama dos 5-50 ppb⁷⁶. A sua concentração após a maturação deve de ser <0,01 mg/L de cerveja e permanece o mais constante possível após a filtração com a utilização de boas práticas como a remoção de ar total da tubagem incluindo mangueiras e aparelhos utilizados para quando a passagem da cerveja se fizer de forma a minimizar a captação de oxigénio^{23,76}. A oxidação da cerveja também é controlada com a camada de proteção da espuma na cerveja que impede a formação de sabores pouco agradáveis como diacetil durante o consumo⁷⁸. Quando ocorre uma exposição mais acentuada ao oxigénio ocorre a formação de radicais livres que causam um *off-flavour*, correspondente à cerveja oxidada e danificam a estabilidade coloidal e, consequentemente, o prazo de validade⁵⁰. Por outro lado os principais danos oxidativos são originados por iões de metais de transição, principalmente ferro e manganês^{50,93}. Estes levam a que ocorra uma peroxidação dos ácidos gordos insaturados provocando dificuldades na filtração⁹³. Os sistemas de filtração em profundidade estão associados à perda de grande quantidade de cerveja e uma elevada adição de oxigénio à cerveja²³. Com a utilização destes filtros ocorre grande formação de radicais livres⁵⁰. As unidades de oxigénio dissolvido na bebida podem ser expressas em mg/L sendo também usada a unidade de conversão partes por milhão (ppm) e partes por bilhão (ppb)⁷⁶.

2.3.3.10. Amargor e Cor

As resinas do lúpulo principalmente os iso- α - ácidos são os maiores responsáveis pelo amargor da bebida. Algumas moléculas de α -ácidos aderem às paredes celulares das leveduras e ficam depositadas juntamente com estas no fundo do tanque perdendo-se durante o processo de filtração^{92,94}. Podem ser feitas análises qualitativas que determinam a quantidade de iso- α -ácidos totais através da medição por espectrofotometria (medido a 275 nm) depois de ocorrer uma prévia extração com solventes como o iso-octano, os resultados são expressos em Unidades Internacionais de Amargura (BU's – *Bitter Units*)⁷⁶.

A cor é influenciada pelas matérias-primas (água e malte) e por etapas do processamento e produção do mosto (ebulição) onde ocorre a exposição a temperatura elevadas, o contacto com leveduras na fase de fermentação originando compostos metabólicos secundários como ésteres e compostos fenólicos (octanoato de etilo) bem como a oxidação de alguns polifenóis que resultam da reação de Maillard durante o processo de maltagem que dão origem à cor da cerveja^{73,76}. Os valores normais da cerveja clara encontram-se na faixa entre os 7 a 11 EBC e para cervejas escuras entre os 40 e 80 EBC⁷⁶. Durante a filtração é perdida levemente a cor da cerveja pois muitas das partículas responsáveis pela cor como, melanoidinas, ficam presas nas paredes do filtro fazendo parte do bolo de filtro¹³. A perda de cor aumenta a claridade da amostra que contribui como a índice de observação visual para a turbidez da amostra⁷³. Os métodos quantitativos de determinação da cor mais simples resultam na utilização de um espectrofotómetro onde a luz penetra e ocorre a absorção da amostra na gama dos 430 nm na zona do visível, sendo este valor diferenciado para cada cor distinta de cerveja¹².

II. Desenvolvimento do estágio curricular na empresa

1. Objetivos do estágio

O objetivo do estágio na empresa Essência D'Alma visa, inicialmente a aprendizagem de conhecimentos no processo cervejeiro com o acompanhamento de atividades desempenhadas na empresa relativas ao processo de produção bem como outras atividades adicionais. Numa segunda fase procura-se obter o seguimento de filtrações e a análise de critérios físico-químicos que se processam ao longo da filtração de cartuchos e da filtração de KG com o objetivo de ajuste dos métodos adaptados pela empresa para cada estilo de cerveja. Posteriormente, pretende-se criar protocolos do procedimento de filtração com base em medição de parâmetros que variam e afetam as várias condições de filtração para a respetiva otimização de todo o processo, proporcionando a maior qualidade organolética da cerveja e estabilidade durante o armazenamento.

2. Apresentação da empresa

A cervejaria Essência D'Alma, Lda. encontra-se atualmente sediada em Oliveira de Azeméis pertencente ao conselho de Aveiro e é detentora da marca cerveja “Vadia”. Esta microcervejeira é responsável pela produção de duas gamas de cerveja artesanal juntamente com edições especiais envelhecidas em barricas. A gama original é composta por quatro estilos de cerveja *German Pilsner*, *Dark Lager*, *Weatbeer* e *Märzen* correspondentes às cervejas Vadia Loira, Preta, Trigo e Rubi, respetivamente. A gama de harmonização é composta por estilos de cerveja *Doppelbock*, *American Pale Ale*, *Indian Pale Ale*, *Baltic Porter* e *Fruit Beer* correspondentes às cervejas Vadia Extra, Orgânica, Thartaruga, Nautika e Ginja de maçã, pera ou framboesa, respetivamente. Contudo, a empresa também produz cervejas de marcas externas como a Birrenta (*Saison Lager*) e a Via Láctea (*Saison Pale Ale*) e de estilos de cerveja diferente como a Brut IPA.

Apenas sete das cervejas de ambas as gamas Vadia juntamente com cervejas externas são filtradas na empresa de acordo com o seu estilo de cerveja. A **tabela 4** apresenta as características de turbidez visual e as suas respetivas gamas de turbidez, obtidas pela observação visual dos resultados de turbidez resultantes de cada filtração durante o período de estágio.

Tabela 4- Características de cervejas Vadia filtradas na empresa Essência D'Alma.

Cervejas Vadia	Estilo de cerveja (Abreviatura)	Turbidez visual	Gama de Turbidez (FTU)*
Loira	<i>German Pilsner</i> (GP)	Cristalina	0-50
Rubi	<i>Dark Lager</i> (DL)	Cristalina	0-150
Preta	<i>Märzen</i> (MN)	Pouco turva	50-200
Nautika	<i>Baltic Porter</i> (BP)	Pouco turva	200-500
Extra	<i>Doppelbock</i> (DB)	Pouco turva	200-400
Orgânica	<i>American Pale Ale</i> (AP)	Cristalina	0-100
Thartaruga	<i>Indian Pale Ale</i> (IP)	Cristalina	0-150
Birrenta	<i>Saison Lager</i> (SL)	Pouco turva	200-600
Via láctea	<i>Saison Pale Ale</i> (SP)	Pouco turva	200-500
Brut IPA	<i>Brut India Pale Ale</i> (BI)	Muito Cristalina	0-20

*Dados obtidos através da observação prática da turbidez na empresa.

3. Atividades desenvolvidas na empresa

Ao longo do estágio foram acompanhadas as várias etapas do funcionamento de toda a empresa com a realização de algumas atividades de higienização, tarefas da produção e análises regulares à cerveja.

O processo de produção na qual tive contacto à semelhança das fases descritas na [seção 2.2](#) inicia-se com a brassagem onde a proporção e quantidade de cada cereal a adicionar à “panela de brassagem” é determinada através do *software BeerSmith* que auxilia em todo o processamento pois contém a “receita” de produção de cada cerveja Vadia e a respetiva quantidade de adição de sais como o cálcio e o zinco nas fases de ebulição e decantação. Cada produção corresponde a apenas 1000 L de cerveja, sendo que por dia podem ser feitas duas produções que levam a uma produção total de 2000 L em cuba. A cerveja é armazenada em cubas de 1000 L ou 2000 L para ocorrer a fase da fermentação onde são feitas análises ao °Brix, potencial alcoólico e pH de forma controlar o processo sendo estes parâmetros registados e monitorados por controlos internos implementados para cada cerveja. As leveduras para cada cerveja são inoculadas na cuba depois de se medir a sua viabilidade e concentração por litro sendo que na empresa são consideradas para uso quando o valor de viabilidade indica $\geq 70\%$. Seguidamente, a cerveja é colocada em maturação onde ocorre alteração da temperatura da cuba que é baixada a temperatura para os 4 °C.

A etapa seguinte corresponde à filtração e antes de se iniciar é medida a turbidez de cada cerveja, posteriormente é utilizada a filtração de cartuchos para filtrar todos os estilos de cerveja sendo que, a recente utilização da filtração de KG possibilitou a filtração por este método dos estilos de cerveja *German Pilsner*, *Dark Lager*, *Märzen American Pale Ale* e *Indian Pale Ale*. A filtração de KG devido à sua rapidez e elevada eficiência na redução da turbidez permite a filtração de três cubas de 2000 L para um dos três maturadores com capacidade de 6000 L que se encontram localizados na parte exterior da empresa e permitem o armazenamento prolongado da cerveja. Posteriormente ocorre a carbonatação em cubas de 1000 L ou 2000 L e a cerveja pode ser recolhida para barris de cerveja fresca que são armazenados na arca frigorífica da empresa. O enchimento corresponde à colocação de garrafas e caricas na linha da enchedora e depois as garrafas passam através de um pasteurizador em linha onde é controlada sempre a temperatura de aquecimento, temperatura de pasteurização e arrefecimento e introduzido um *data log* numa das garrafas para verificar se este processo foi executado corretamente. No final da linha existe uma rotuladora que introduz o rótulo e são verificadas manualmente se todas as garrafas contêm os requisitos de qualidade necessários.

A higienização da fábrica é feita semanalmente a todo o espaço da fábrica à semelhança do que acontece com outras empresas alimentares, seguindo o protocolo do CIP (*Clean-in-place*).

4. Materiais e Métodos

4.1. Filtração de Cartuchos

Os filtros de cartuchos utilizados na empresa Essência D'Alma, são fornecidos pela empresa Pall Corporation e fazem parte da série Nexis® T sendo constituídos por polipropileno com um comprimento de 743 mm e diâmetro de 60 mm (medição pelos O-rings) permitindo que ocorra uma filtração em profundidade. A empresa possui dois *housing's*, um contendo espaço para um cartucho e outro para três cartuchos onde é possível a utilização de cartuchos de 5 µm absolutos ou de 1 µm de poro não absoluto com eficiências de 99,9 % e 90 %, respetivamente, de acordo com o fornecedor¹⁰⁶.

O processo de filtração das cervejas Vadia está dependente da medição dos parâmetros iniciais de turbidez, temperatura e pressão da cuba sendo estes fatores influenciadores da decisão de ocorrer a filtração. A turbidez inicial determina a escolha da utilização dos dois filtros de cartuchos de diferentes diâmetros de poro, a temperatura

e a pressão vão influenciar o momento e a disposição do equipamento para se fazer a filtração. Outros dos influenciadores deste processo são a purga feita da levedura que está intrinsecamente ligada com a floculação da levedura e que se encontra na parte cilíndrica da cuba. Na empresa por vezes é tomada a decisão de purgar toda a levedura pois esta não se encontra viável e resulta em perdas diferentes de cerveja de quando se decide manter a levedura na cuba (a ser retirada depois do processo de filtração). A quantidade de levedura que se encontra neste fundo de cuba também é variável de cerveja para cerveja devido a fenómenos de floculação diferenciada e perante a purga pode ocorrer uma variação de volume filtrado. O volume inicial de cerveja também está dependente da diluição feita antes da fermentação de forma a obter o °Brix, pH e teor alcoólico pretendido para a cerveja e da quantidade de levedura adicionada à cuba.

No início do estágio verificou-se que a empresa utilizava filtros de cartuchos para filtrar todos os tipos de cerveja que a empresa produz, isto significa que a filtração passava pela utilização de filtros de 5 µm e de 1 µm para filtrar estilos de cerveja GP (Loira), AP (Orgânica), MN (Rubi), IP (Thartaruga) e SP (Via láctea) e pela utilização de filtros de 5 µm quando se pretendia a filtração de estilos de cerveja BP (Nautika), DB (Extra), DL(Preta) e SL(Birrenta).

De maneira a rentabilizar o processo de filtração o pretendido seria ocorrer ciclos semanais na qual existia uma semana de produção das cervejas e outra semana correspondente ao processo de filtração e o *terminus* da produção da cerveja. O que se verificou, no decorrer do estágio foi a produção de cerveja semanalmente em dias distintos à filtração sendo feito um plano mensal das atividades desenvolvidas. Para se iniciar a filtração com cartuchos são necessárias etapas de purga das leveduras (se necessário), lavagem e montagem do equipamento de filtração na disposição correta (**figura 13**).

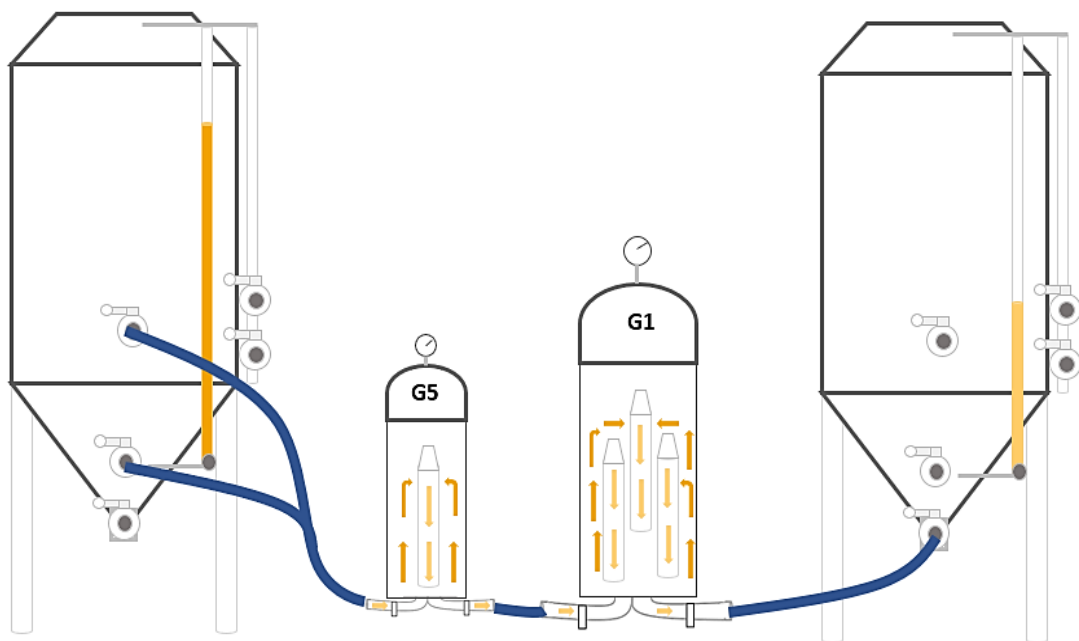


Figura 13- Representação esquemática da montagem do equipamento na filtração de cartuchos. G5- Housing de um espaço para colocar um cartucho; G1 – Housing de três espaços para colocar três cartuchos.

A filtração decorre com a utilização de contrapressão onde uma cuba (CC) é elevada a uma pressão de 2,0 bar e noutra é retirada pressão até atingir o 0,4 bar no manómetro da cuba de maneira a decorrer a fluidez da cerveja sendo sempre necessária a existência de CO₂ na cuba para minimizar os danos provocados pelo O₂ (o espaço de cabeça na parte superior da cuba fica preenchido por CO₂). No geral, a cerveja que não se encontra filtrada atravessa o primeiro *housing* (G5) onde ficam retidas partículas coloides superiores a 5 µm e posteriormente o segundo *housing* (G1) que contém três cartuchos com a capacidade de filtração de agregados coloidais de tamanho superior a 1µm ocorrendo depois o armazenamento da cerveja na cuba. A disposição de montagem pode variar para cervejas que apenas necessitem da utilização de filtros de cartuchos de 5 µm o que, neste caso, corresponde à montagem apenas do *housing* (G1) com três filtros destes cartuchos de forma a aumentar o fluxo/h de cerveja filtrada.

De forma a gerir melhor o tempo e volume de cerveja a filtrar, procedeu-se à utilização de uma bomba de três bocas (BC) instada na extremidade da cuba de cerveja não filtrada antes dos dois *housing*'s de forma a permitir o movimento da cerveja deixando de haver a necessidade de se formar contrapressão nas cubas. A existência deste método está dependente da disponibilidade da bomba para utilização pois esta é utilizada noutros processos de produção (enchimento/ carbonatação).

Por vezes no decorrer da filtração são necessárias paragens pois verifica-se que os cartuchos encontram-se muito colmatados, ou seja, quando ocorre uma ΔP onde, $\Delta P = P_1 - P_0$, sendo P_1 = diferença entre a pressão de entrada e P_0 = diferença entre a pressão de saída (**figura 14**), elevada entre os dois *housing's*, com o aumento da deposição de partículas no primeiro *housing* e consequente resistência à filtração. Este acontecimento observa-se na prática através do nível da cuba não apresentar grande descida de cerveja e do *housing* de três espaços se encontrar com uma pressão perto dos 0 bar, sendo então, retirados os filtros e recorrendo-se à sua limpeza com a utilização de água e de detergente (*Mida Foam 193*) e depois são novamente montados no circuito de filtração. No final da filtração, o material é desmontado e os filtros são lavados novamente com a utilização de detergente e água e são armazenados num suporte até serem utilizados de novo.

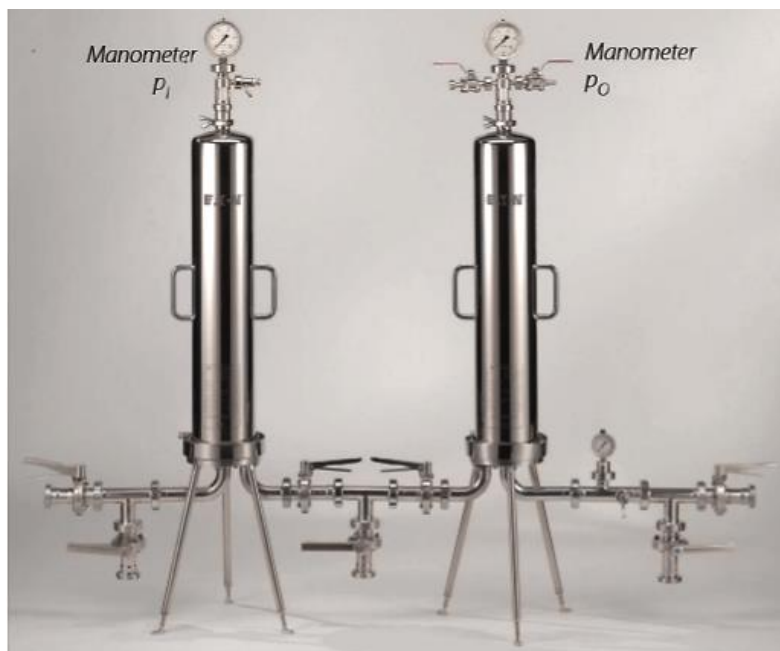


Figura 14- Diferença de pressão dos *housing's*. Retirado de ⁹⁶.

4.2. Filtração de Terra de diatomáceas

Na empresa Essência D'Alma para realizar a filtração de KG é utilizado um tipo de filtro com estrutura em vela e é necessária a ligação à corrente e montagem do equipamento como se encontra representado na **figura 15**.

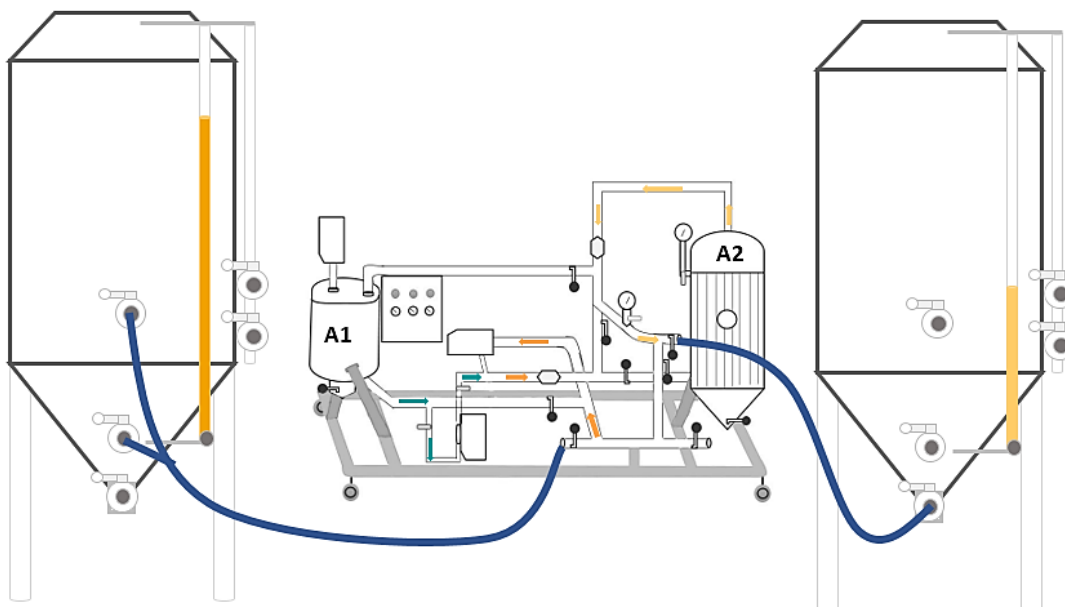


Figura 15- Montagem do filtro de terra de diatomáceas. A1 – Recipiente de mistura das terras; A2- Recipiente que contém o filtro de velas.

A filtração da cerveja utilizando o filtro de KG necessita da execução de duas etapas, a primeira corresponde à formação das pré-camadas que se vão depositar no filtro de velas e a segunda corresponde à renovação da dosagem contínua. Inicialmente, todo o circuito é desoxigenado com *fressline* e posteriormente procede-se ao seu enchimento com água de rede. As terras tanto para as pré-camadas como para a dosagem contínua são adicionadas no recipiente aberto (A₁) e são recirculadas para o filtro de velas (B₁) onde é formada uma camada porosa. A correta e uniforme deposição das pré-camadas é essencial para o decorrer da filtração da cerveja envolvendo cálculos de determinação da quantidade de terras ([referidos na secção 4.2.1.](#)) correspondentes à área do filtro de velas total para que todas as KG possam recobrir o comprimento total das 20 velas.

Na cervejaria Essência D'Alma são utilizados quatro tipos de terras, todos eles são fornecidos pela empresa Ângelo Coimbra, S.A. A 1º pré-camada é formada por uma terra à base de Celulose (Randacel® 200) juntamente com uma terra de uma granulometria mais grossa (Celatom® FW50). A segunda pré-camada é composta por a junção de três KG com diferentes granulometrias, uma terra fina (Celatom® FP4), terra média (Celatom® FW12) e a terra grossa já utilizada no revestimento da 1º pré-camada. Por fim,

a composição da dosagem contínua é composta apenas pela terra média e terra fina. Nas seguintes duas tabelas são apresentadas características de cada uma das terras (**tabela 5 e 6**).

Tabela 5- Propriedades da terra Randacel® 200 ⁹⁷.

Parâmetros	Randacel® 200
Densidade aparente (g/L)	110-150
Teor de celulose	> 99 %
Humidade	<7 %
pH	6±1

Tabela 6- Propriedades das terras Celatom® ⁹⁸.

Terras de diatomáceas	Celatom® Fw50	Celatom® Fw12	Celatom® FP4
Origem	Diatomite de água doce	Diatomite de água doce	Diatomite de água doce
Estrutura	Fluxo-calcinado	Fluxo- calcinado	Fluxo-calcinado
Cor	Branco	Branco rosado	Amarelo-claro/Rosa
Análise granulométrica (Tyler)			
% + 150 Mesh			
(> 105 micrómetros)	22,8	7,2	4,2
Diâmetro médio das partículas (µm)	42,0	24,0	15,0
Permeabilidade (mildarcy)*	3500	900	315
pH (suspensão 10 %)	10,0	9,5	6,5
Gravidade específica	2,33	2,33	2,25
Densidade (g/L)			
Volume molhado	300	336	400
Volume seco	240	224	192
Humidade livre (max. % H₂O)	0,5	0,5	0,5
Retenção de partículas (µm)	< 5,0	< 1,0	< 1,0

*Determinado de acordo com o parâmetro w/VEL

A implementação deste filtro no processamento da cerveja tinha sido testada apenas num tipo de cerveja (Loira), usando condições ainda não otimizadas. Ao longo do estágio foi necessário a otimização do manuseamento do filtro, o ajuste de terras tanto nas pré-camadas como na dosagem contínua, o controlo da pressão do filtro de velas e o

doseamento manual da bomba de débito contínuo de terras. Assim sendo, de maneira a estudar estas limitações e poder contornar estes obstáculos foram feitos ensaios com os estilos de cerveja *German Pilsner*, *Märzen*, *Dark Lager*, *American Pale Ale*, *Indian Pale Ale* e *Brut IPA*.

4.3. Análise de Parâmetros físico-químicos da cerveja

4.3.1. Análise da turbidez

As leituras da turbidez foram realizadas antes e após a filtração com a utilização de um turbidímetro que se encontra representado na **figura 16** (2100Q da Hach).



Figura 16- Aparelho 2100 Q da Hach e a respetiva cuvete ⁹⁹.

De acordo com o funcionamento do aparelho, as amostras líquidas são introduzidas no centro do aparelho dentro de uma cuvete que é limpa através da utilização de uma solução de óleo de silicone juntamente com um pano próprio fornecido pelo fabricante de forma a evitar riscos e outros atritos na cuvete que possam influenciar os resultados. Posteriormente à introdução da cuvete é fechada a tampa do aparelho e o aparelho faz a leitura obtendo-se o resultado no ecrã em FTU. O aparelho deve de ser calibrado mensalmente para evitar erros de leitura e de desempenho. As análises no turbidímetro estão também dependentes da forma como a amostra foi obtida porque se existir uma grande quantidade de gás (CO_2) na recolha e na cuvete os valores de turbidez vão ser superiores relativamente ao valor real sendo que, podem surgir diferenças de $\approx 3,0$ FTU em amostras de cerveja diferentes provenientes da mesma cuba.

4.3.2. Análise de pH e sólidos solúveis totais

Para a análise do pH foi utilizado um aparelho de medição do pH (H1-2020 da *Hanna Instruments*) que funciona por um processo de determinação potenciométrica (**figura 17**) e para a análise dos sólidos solúveis totais ($^{\circ}\text{Brix}$) um refratómetro digital

(HI96813 da *Hanna Instruments*) onde é colocada a amostra utilizando uma pipeta de Pasteur no local de leitura (lado direito do aparelho) e esse local de medição contém um volume fixo onde no ecrã do aparelho é exibido o valor de °Brix para cada amostra de cerveja (**figura 18**).



Figura 17- Aparelho HI-2020 da *Hanna Instruments* ¹⁰⁰.



Figura 18- Aparelho HI96813 da *Hanna Instruments* ¹⁰¹.

4.3.3. Análise da temperatura e da pressão

Os dados de temperatura obtidos foram registados através do visionamento do painel de controlo de resfriamento das cubas e dos maturadores e os de pressão através do barómetro de pressão que se encontra em cada cuba e dos barómetros que compõem o filtro de KG.

5. Análise e discussão de resultados

5.1. Filtro de Cartuchos

De forma a uniformizar o processo de filtração de cartuchos surgiu a necessidade de criação de um protocolo detalhado de todo o procedimento que se encontra descrito na **figura 19**.

Protocolo de filtração de Cartuchos

Empresa Essência D'Alma

Ano 2019/2020

Índice

Filtração de Cartuchos	1
1. Lista de componentes do filtro	1
2. Características dos filtros	2
3. Receção do filtro	2
4. Instalação do filtro	3
5. Instalação e preparação do equipamento	4
5.1. Esquema de filtração da cerveja	5
5.2. Legenda dos componentes de filtração	5
6. Procedimento de filtração	7
6.1. Início	7
6.2. Paragem para lavagem dos filtros	7
6.3. Final da filtração	8
6.4. Lavagem dos filtros	8
6.5. Reutilização dos filtros	9
7. Bibliografia	9

Abreviatura:

CC- Parte cónico-cilíndrica da cuba

Filtração de Cartuchos

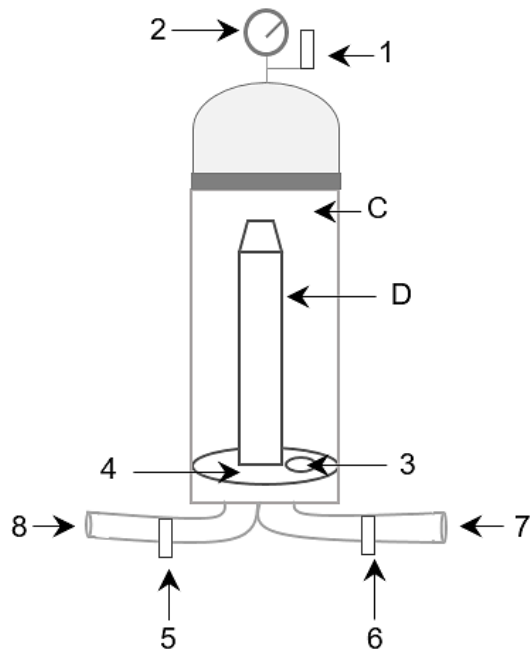


Ilustração 1- Esquema do *housing* e do filtro de cartuchos semelhante ao utilizado na empresa Essência D'Alma.

1. Lista de componentes do filtro

C- *Housing* de filtração

D- Filtro de Cartuchos

01-Válvula de purga do recipiente C

02-Manômetro do recipiente C

03-Orifício de entrada da cerveja

04-Zona de encaixe do filtro e orifício de saída de cerveja

05-Válvula de purga do tubo de cerveja não filtrada

06- Válvula de purga do tubo de cerveja filtrada

07-Saída de cerveja filtrada

08- Entrada de cerveja não filtrada

2. Características dos filtros

Os filtros de cartuchos são fornecidos pela empresa Pall Corporation e fazem parte da série Nexis® T como filtros de profundidade são fabricados principalmente de polipropileno, mas existe outras características associadas (**tabela 7**).

Tabela 7- Materiais de construção do filtro de cartuchos.

Partes do filtro de cartucho	Material
Membrana	Polipropileno
Núcleo interno	Polipropileno
Tampa da extremidade superior	Polipropileno
O- Rings	Borracha de etileno-propileno ou silicone
Medidas	
Comprimento vertical	743 mm (29.25")
Diâmetro dos O-Rings	60 mm

Mais informações sobre benefícios nas variadas operações de filtração podem ser encontradas no site da Pall Corporation¹: <https://shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/particle-filtration/zidgri78li4>

3. Receção do filtro

Devem de ser aplicadas as seguintes normas:

- A embalagem que contém os filtros deve de ser armazenada num local limpo e seco entre uma temperatura de 0 °C e 30 °C;
- Os filtros não devem de estar expostos fontes de radiação e devem de estar dentro da embalagem;
- Antes da sua utilização deve de ser verificada existência de danos na zona do filtro ou no plástico que os envolve;
- Deve de se retirar do plástico para uso o filtro de cartuchos adequado à aplicação;
- Para além do número do componente, cada conjunto do filtro é identificado por um número único de identificação do lote e da série;

4. Instalação do filtro

Os filtros de cartuchos são instalados nos sistemas denominados *housing's* com capacidade para posição de mais do que um filtro. Para se proceder à instalação de um filtro novo:

- a) Abrir a bolsa de plástico com a tesoura, tendo cuidado para não danificar o filtro de cartuchos que se encontra no interior;
- b) Para evitar que ocorra a contaminação é aconselhado o uso de luvas e manter a bolsa aberta na parte superior do filtro para que seja fácil o seu manuseamento;

Para montagem do filtro no *housing*:

- c) Assegurar que os O-rings estão em bom estado e corretamente posicionados nas ranhuras (**figura 20**);
- d) Verificar se a superfície da junta de vedação do *housing* se encontra limpa e sem danos;
- e) Para facilitar o encaixe, recomenda-se fortemente que os O-rings sejam lubrificados, mergulhando a extremidade aberta do filtro de cartucho num líquido adequado que seja compatível com o fluído a filtrar (**ex:** A água utilizada no enxaguamento final da instalação é um lubrificante mais indicado em muitos dos casos);
- f) Encaixar o filtro de cartucho no orifício do *housing* com um suave movimento de impulsão vertical inferior para ajudar a molhar as superfícies. Adapte-o cuidadosamente na posição correta. Não tente forçar o posicionamento do cartucho;
- g) Rodar o filtro de cartucho no sentido dos ponteiros do relógio, de modo a encaixar as patilhas de fixação na base da *housing*;



Figura 20- Imagem da parte inferior de um filtro de cartuchos. a- Patilhas do filtro; b- O-rings²

Nota: Confirmar se os filtros se encontram bem encaixados e que não há nenhuma folga nas patilhas no filtro.

Montagem da unidade de filtração:

- h) Encaixar a parte superior do *housing* por cima do suporte;
- i) Assegurar que as juntas de vedação estão em bom estado e corretamente encaixadas nas ranhuras do filtro de cartucho em cada uma das extremidades;
- j) Verificar se as superfícies da junta e porcas de vedação da *housing* estão limpas e em bom estado;
- k) Não é necessário humedecer as juntas de vedação;
- l) Introduzir e apertar o varão de aperto fixando-o na porca de vedação e apertando manualmente no sentido dos ponteiros do relógio;

5. Instalação e preparação do equipamento

Na empresa são feitos dois tipos de filtração: (i) Com a utilização da contrapressão das cubas e (ii) Com o uso de bomba de três bocas. A filtração pode ser usada com recurso a um ou dois *housing* 's de acordo com a **tabela 8**.

Tabela 8- Informações sobre a filtração das cervejas Vadia.

Cervejas Vadia	Número de <i>housing</i> 's utilizados	Filtros utilizados
Loira	2	5 μm + 3 x 1 μm
Rubi	2	5 μm + 3 x 1 μm
Preta	1	3 x 5 μm
Nautika	1	3 x 5 μm
Extra	1	3 x 5 μm
Orgânica	2	5 μm + 3 x 1 μm
Thartaruga	2	5 μm + 3 x 1 μm

5.1. Esquema de filtração da cerveja

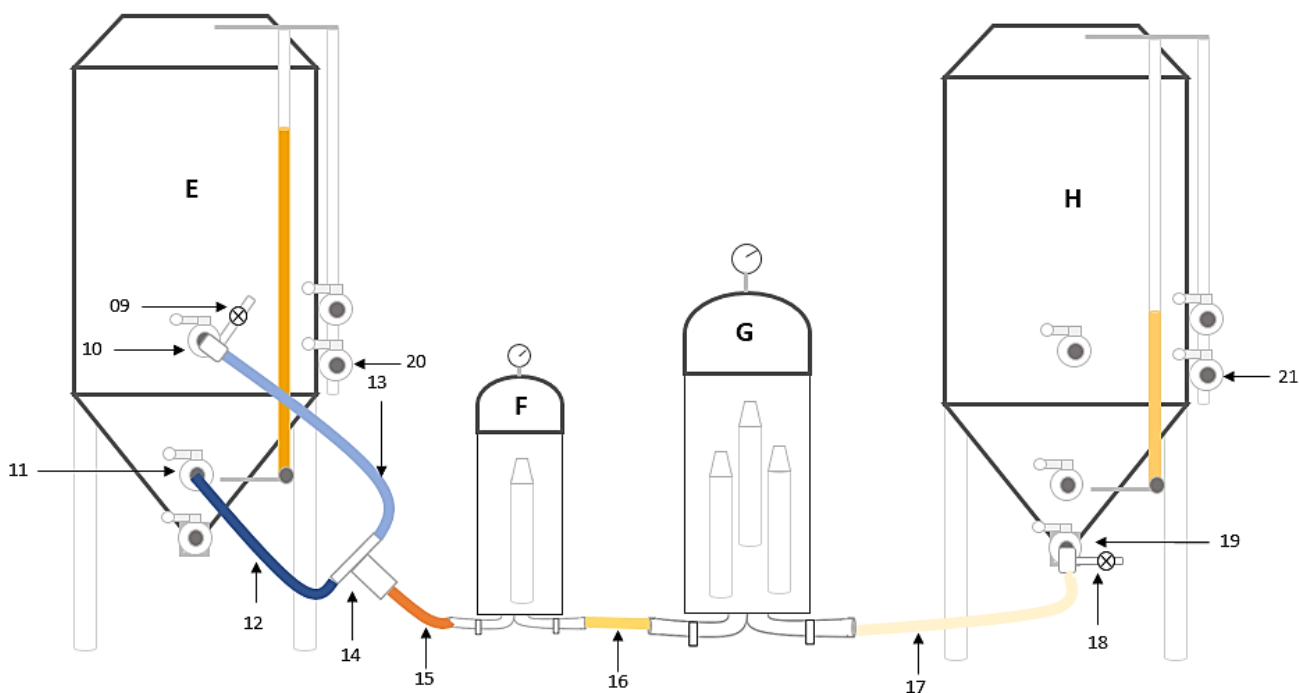


Ilustração 2- Montagem do equipamento de filtração.

5.2. Legenda dos componentes de filtração

E- Cuba com a cerveja não filtrada

F- *Housing* de uma cavidade

G- *Housing* de três cavidades

H- Cuba com a cerveja filtrada

09- Acessório curvo 90° (DV25) (Purga de cerveja na válvula superior da cuba)

10- Válvula na parte superior da cuba

11- Válvula na parte cônico-cilíndrica (CC) da cuba

12- Mangueira de ligação da válvula CC ao conector T

13- Mangueira de ligação da válvula superior ao conector T

14- Conector T/ Bomba de três bocas

15- Mangueira de ligação do conector T ao *housing* F

16- Mangueira de ligação entre os *housing*'s F e G

17- Mangueira de ligação do *housing* G à mangueira inferior da cuba

18- Válvula na parte inferior da cuba

19- Acessório curvo 90° (DV25) (Purga de cerveja na válvula inferior da cuba)

20- Válvula de pressão da cuba de cerveja não filtrada

21- Válvula de pressão da cuba de cerveja filtrada

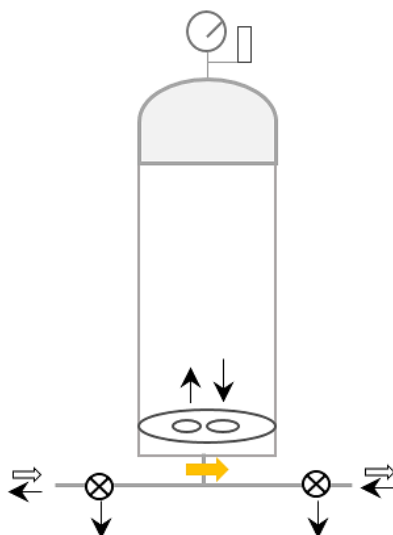


Ilustração 3- Imagem exemplificativa do fluxo de cerveja ao passar pelo *housing*.

a) Ligação dos *housing*'s de acordo com a ilustração anterior (ilustração 2);

I: A filtração processa-se da cuba E para a cuba H.

Nota: Os *housing*'s têm de estar colocados no sentido da seta de fluxo da filtração (ilustração 3).

No caso da utilização dos dois *housing*'s na filtração:

b) Colocação no *housing* F um filtro de cartuchos de 5 μm e fechar o respetivo *housing*. As torneiras de purga do *housing* devem de se encontrar fechadas;

c) Colocação no *housing* G três filtro de cartuchos de 1 μm e fechar o respetivo;

No caso da utilização de um *housing* na filtração:

d) Colocação no *housing* F um filtro de cartuchos de 5 μm e fechar o respetivo *housing*. Ou colocação no *housing* G três filtros de 5 μm ;

No caso da utilização da bomba na filtração:

e) Troca do conector T e coloca-se a bomba a ligar as três mangueiras;

Nota: Neste caso não são necessários os passos iniciais a) e b) da seção 6.1.

A mangueira utilizada no circuito final da filtração (17) deve de ser transparente para poder controlar o fluxo visual de entrada de cerveja na cuba.

6. Procedimento de filtração

6.1. Início

- a) Liga-se o tubo de *fressline* à cuba E e procede-se à abertura da válvula 20 para que a pressão aumente na cuba até ao intervalo de 1,5-2,1 bar;
- b) Na cuba H abre-se a válvula 21 para diminuir a pressão na cuba até ao intervalo de 0,6-0,2 bar;

Nota: O circuito das restantes válvulas encontra-se fechado não devendo haver passagem de pressão para os filtros.

- c) Quando o valor de pressão se encontra dentro do intervalo pretendido nas duas cubas fecha-se o *fressline* e as duas válvulas de 20 e 21 (que se encontravam anteriormente abertas) de cada uma das cubas;
- d) Abre-se a válvula 10 para cerca de 1/3 e aumenta-se ligeiramente de acordo com a observação visual ao verificar a cerveja a sair da cuba F;
- e) Retirar a pressão de cada um dos *housing*'s através da abertura da válvula 01 no *housing* F e deixar escorrer a espuma até sair completamente cerveja;
- f) Fecho da válvula 01 no *housing* F e repetição do mesmo processo para o *housing* G;
- g) Na cuba H, abertura 1/3 da válvula 19 e verificar o fluxo de cerveja que entra na cuba, se necessário ajuste da abertura (maior/menor) da válvula 19;
- h) Ao longo da filtração verifica-se o fluxo através da pressão e do medidor visual de cerveja de casa cuba;
- i) Quando a cerveja passar o limite da válvula no medidor fecha-se a válvula 10 e abre-se a 11 e a filtração prossegue;

6.2. Paragem para lavagem dos filtros

Devido à colmatagem dos filtros devido à ΔP entre os dois filtros e o fluxo ser baixo por vezes é necessária a paragem de filtração para lavagem dos mesmos. Para isso são aplicados os seguintes passos:

- j) Fecho da válvula 10 de maneira a impedir as perdas de cerveja;
- k) Introdução do tubo de *fressline* na válvula 09 de forma a empurrar a cerveja que ainda se encontra no circuito;
- l) Abertura da válvula 19 totalmente para deixar entrar o máximo de cerveja que se encontra nos *housing*'s entrar na cuba;

Nota: A paragem deste processo faz-se quando se houve um borbulhar no filtro de cartuchos significando que apenas encontra-se a passar ar.

- m) Fecho de todas as válvulas da cuba e retiro do turbo de *fressline*;
- n) Abertura das válvulas de purga de ambos os *housing's* e desenrosque das mangueiras que se encontram ao seu redor;
- o) Desenrosque da parte superior do *housing* através do desenroscar do varão de aperto no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio;

(procede-se à lavagem dos filtros como referido na secção 6.4)

Para proceder ao retorno da filtração:

- p) Montam-se os *housing's* com os filtros de cartuchos e enrosca-se as mangueiras novamente aos *housing's* e às cubas;

(procede-se ao retorno da filtração como referido na secção 6.1)

6.3. Final da filtração

A filtração termina quando toda a cerveja se encontra filtrada e a cuba de cerveja não filtrada encontra-se apenas com as leveduras que ficaram na parte CC.

- q) Fecham-se todas as válvulas das cubas E e H;
- r) Desmontagem de todas as mangueiras/ filtros e *housing's* utilizadas na filtração;
- s) Limpeza das mangueiras e dos *housing's* através do recurso à água de rede;

6.4. Lavagem dos filtros

- a) Liga-se a mangueira 17 à água de rede e ao *housing* de uma cavidade disposto na posição contra o fluxo de cerveja;
- b) Fecho da válvula de purga 5 e 6 dos dois *housing's*;
- c) Enrosque de um filtro de cartuchos no *housing*;
- d) Abertura da água e lavagem do cartucho duas vezes (verificação da parte superior do cartucho se encontra bem lavada);
- e) Repete-se o mesmo para os restantes filtros;
- f) Retira-se os filtros de cartuchos e coloca-se no suporte ao lado das cubas de forma invertida;
- g) Coloca-se detergente (*Mida Foam 193*) em cada um dos filtros até que todo o canal interno seja totalmente recoberto.

- h) Encaixe novamente dos filtros no *housing* e lavagem com água até que toda a espuma seja retirada;

(procede-se ao retorno da filtração como referido na secção 6.1)

Nota: Em caso de ser o final da filtração o filtro não passa pela passagem de água e apenas fica no suporte com o detergente.

- i) Armazenamento do filtro no suporte colocado de forma vertical com a disposição igual à que se encontra no *housing*;
- j) Procede-se à lavagem do *housing* que foi utilizado com a água e depois desencaixe dos dois elementos e colocam-se os dois no sítio;

6.5. Reutilização dos filtros

Os filtros podem ser utilizados de novo apenas é necessária a lavagem dos filtros de cartuchos que se encontram no suporte e iniciar o processo como descrito na **secção 6**.

Este protocolo foi desenvolvido com a consulta do protocolo de higiene proposta pela Pall Corporation³.

7. Bibliografia

1. Available at: <https://shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/particle-filtration/zidgri78li4> (Accessed: 2th March 2020)
2. Available at: <https://www.systec-lab.ch/produkt/filter-cartridge-air-exhaust-filtration-hx-series/?lang=en> (Accessed: 3th March 2020)
3. Available at: <https://www.pall.com/content/dam/pall/biopharm/lit-library/non-gated/procedures/2296-pr.pdf> (Accessed: 2th March 2020)

No decorrer do estágio ocorreu o acompanhamento das filtrações de cartuchos das cervejas enquanto que o filtro de KG ainda não se encontrava em total utilização devido à necessidade de otimização do funcionamento e manuseamento. Na **figura 21** estão representadas para cada filtração realizada o volume filtrado e os respetivos estilos de cerveja (cada valor corresponde a uma produção de 2000 L ou 1000 L) referidos na tabela 4 sendo que, cada número (como exemplo GP1) corresponde a um lote diferente de cerveja. Uma vez que a empresa possui cubas internas com capacidade de 1000 L e 2000 L, os volumes filtrados de cerveja apenas podem ser iguais ou inferiores a este valor, obtendo-se um volume médio para cada ciclo de 1345 L.

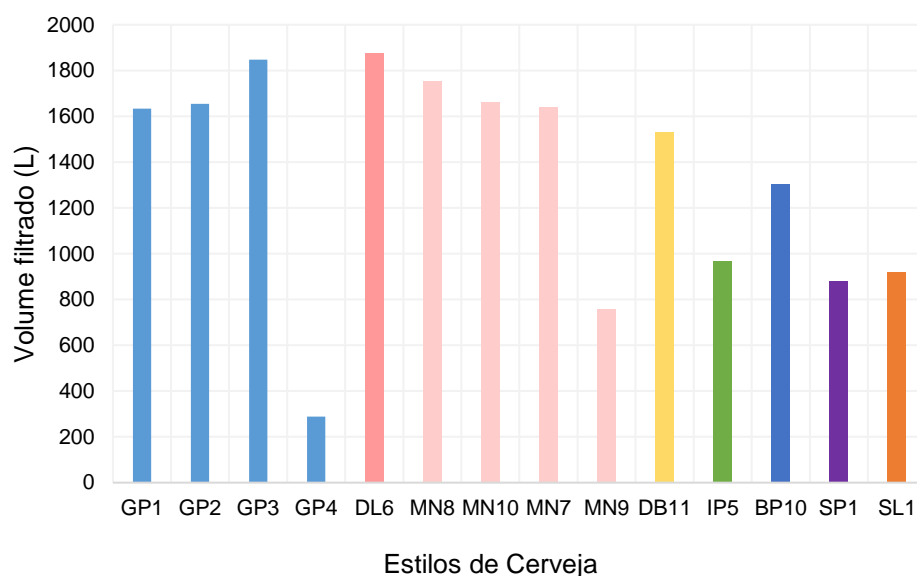


Figura 21- Volume de cerveja filtrada com cartuchos ao longo do decorrer do estágio.

De acordo com o volume de cerveja que se encontrava na cuba não filtrada e a quantidade de cerveja filtrada foi obtido o rendimento de alguns dos lotes de cerveja filtrados encontrando-se representados na **figura 22**.

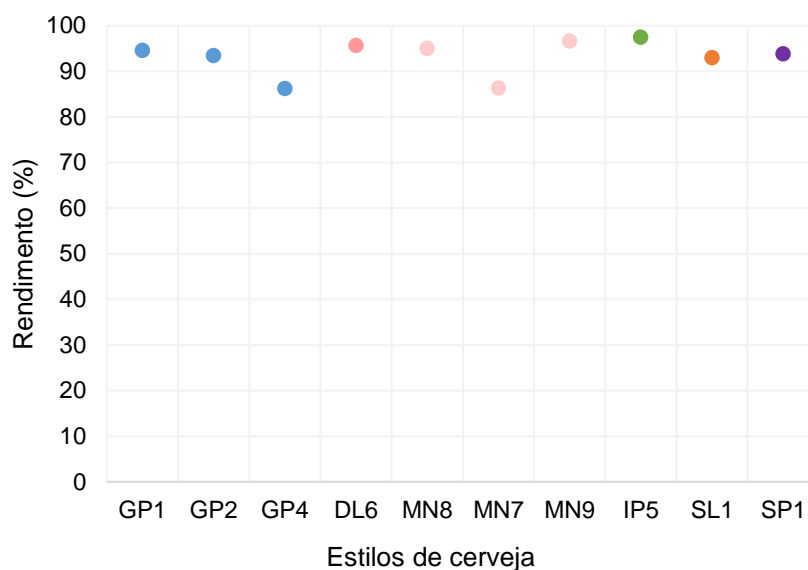


Figura 22- Rendimento dos lotes de cerveja filtrados com cartuchos.

Através da análise dos estilos de cerveja indicados no gráfico podemos ver que a média do rendimento é de 93 % representando um valor bastante elevado. As perdas de rendimento refletem-se na cerveja que fica na parte cilindro-cônica juntamente com a levedura e que pode ser purgada, ao volume perdido quando se têm de interromper as filtrações para lavagem dos cartuchos e à cerveja que fica nas mangueiras e nos *housing's* após a filtração.

No período de filtração verificado na figura 21 foi possível a análise e interpretação de parâmetros como as diferenças de turbidez que se encontram registadas na **figura 23**, referentes a cada lote de cerveja. Os lotes MN8, GP1 e DB11 foram filtrados com a utilização de filtros novos sendo que, os restantes lotes os filtros já tinham sido anteriormente utilizados noutras filtrações.

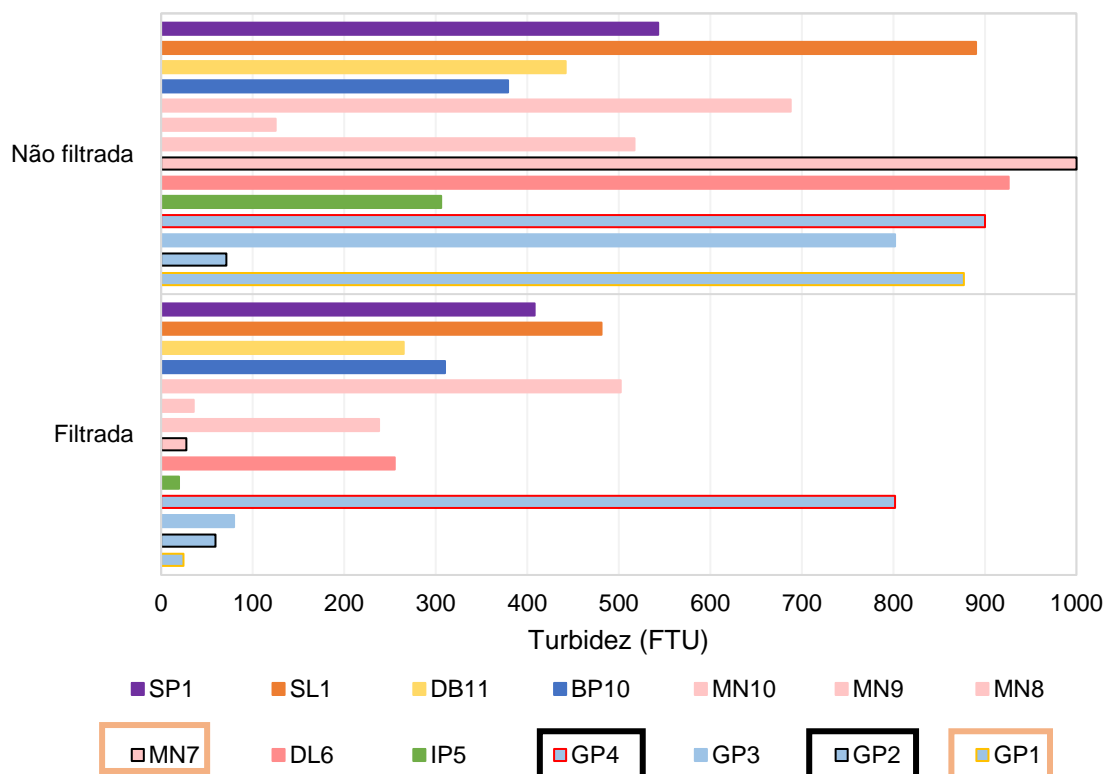


Figura 23- Turbidez dos lotes de cerveja filtrados com cartuchos.

Através da análise gráfica é possível ver que todos os estilos de cerveja registam uma diminuição da turbidez após atravessarem os filtros de cartuchos pois ocorre a retenção de partículas nos filtros de 5 μm e de 1 μm . Os estilos de cerveja GP (GP2 e GP4 representados no gráfico rodeados do retângulo preto) são os que apresentam uma taxa de redução mais baixa de 11 % e 16 %, respetivamente. O lote de GP4 apresentou uma taxa baixa pois foi filtrado com três cartuchos de 5 μm que já se encontravam bastante desgastados devido à sua reutilização pelas anteriores filtrações sendo que, o uso da bomba nestes cartuchos (nas anteriores filtrações) provocou a sua deterioração mais rápida. O lote de GP2 já apresentava uma turbidez inicial baixa (71,2 FTU) e procedeu-se à filtração com três cartuchos de 5 μm , sendo que a abundância de partículas coloidais de dimensões $\geq 5 \mu\text{m}$ era baixa, logo a retenção de partículas no filtro terá pouco impacto na turbidez. Outra cerveja que apresenta níveis baixos de redução de turbidez é o estilo BP (BP10) que foi filtrado com três filtros de 5 μm e com o auxílio da bomba, estes filtros apenas teriam sido utilizados anteriormente uma vez obtendo-se um resultado de turbidez final de 310 FTU que é adequado para o estilo de cerveja pretendido apesar da redução de turbidez corresponder apenas a 18 %. Os dois estilos de MN (MN7) e GP (GP1)

destacados através do retângulo laranja foram os que registaram a maior redução de turbidez em ambos de 97 %, no entanto, a filtração com um cartucho de 5 µm e três cartuchos de 1 µm originou uma colmatção e lavagem do filtro diversas vezes mesmo que no lote GP1 tenham sido utilizados filtros novos. Dado que neste último lote tenham sido utilizados filtros novos este pode ser uma possível explicação para a sua elevada redução de turbidez.

No geral, registaram-se valores de redução de 94 % para o estilo de cerveja IP, entre os 11 % a 97 % para o estilo GP, 18 % para o estilo BP, 40 % no estilo DB, 72 % no estilo DL, 27 % a 97 % para o estilo MN, 46 % para o estilo SL e 25 % para o estilo de cerveja SP.

A diferentes taxas de redução da turbidez registadas entre cervejas de lotes diferentes do mesmo estilo de cerveja são explicadas devido à necessidade de reutilização de filtros de cartuchos para filtrar as cervejas e que por vezes podem já apresentar níveis de colmatção que impeçam o filtro de realizar a retenção de partículas pretendido de ≥ 90 %. Na prática observa-se este acontecimento através do tempo de filtração elevado ao longo das sucessivas filtrações utilizando os mesmos filtros, pelo maior número de lavagens feitas ao filtro após colmatção e pela alteração de cor (branco para castanho) que o cartucho apresenta ao longo das filtrações.

O acompanhamento dos parâmetros de filtração permitiu a medição e registo dos estilos de cerveja em duas condições experimentais distintas no qual se colocou em estudo o parâmetro da pressão, num dos casos foi feita a CC e noutro a BC (**figura 24 e 25**) registando diferentes tempos e volumes de filtração.

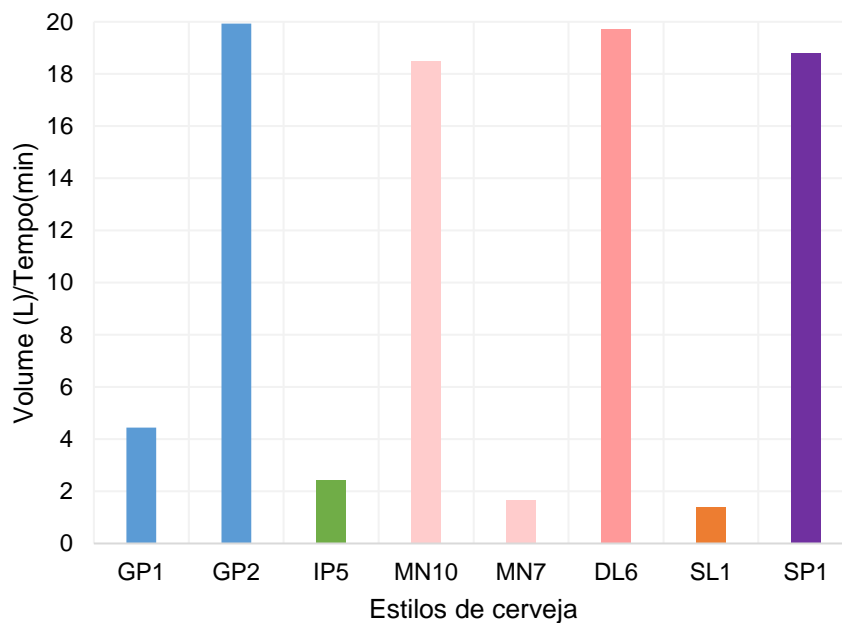


Figura 24- Fluxo dos estilos de cerveja filtradas com o uso do método CC.

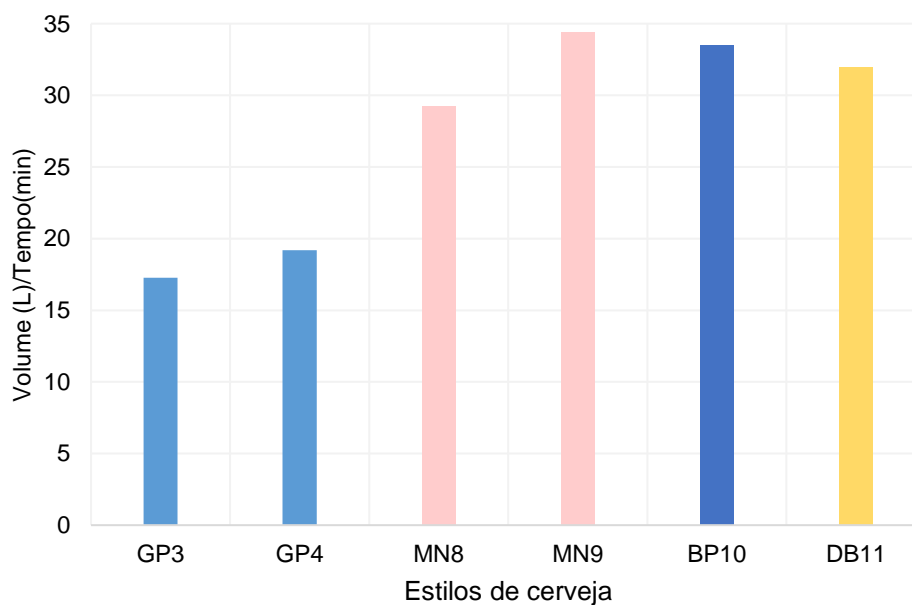


Figura 25- Fluxo dos estilos de cerveja filtradas com o uso do método BC.

Através da observação gráfica é possível verificar que os tempos de filtração com a utilização de BC representam 13 % de média total de tempo gasto na filtração, comparativamente aos 87 % com a utilização da CC, em relação ao tempo máximo decorrido em todas as filtrações de cartuchos.

As filtrações padrão consistem na retenção de partículas sólidas (células de leveduras, macromoléculas em suspensão) e solutos responsáveis pela turbidez¹⁰². Os valores de fluxo total (taxa total de fluxo) referem-se ao tempo que demora um determinado volume de cerveja a passar pelo filtro e representam a eficiência da unidade de filtração (EF)⁶¹. Como os filtros de cartuchos são todos de profundidade e foram fornecidos pela mesma empresa sendo que, a resistência à passagem de cerveja é semelhante, o valor de EF foi calculado de forma simplificada para todos os estilos de cerveja através da percentagem do γ -rácio entre o volume de cerveja filtrada (L) vs tempos de filtração (min)¹⁰³, como forma de estabelecer uma comparação entre os lotes de cerveja filtrada. Os resultados relativamente aos lotes de cerveja representados na figura 24 mostram que os lotes de cervejas dos estilos GP (GP2), DL (DL6) e de SP (SP1) são as que registam uma maior EF de 7,9 %, 7,8 % e 7,5 %, respetivamente. No caso das cervejas representadas na figura 25 as MN9 e BP10 apresenta valores de EF de 13,6 % e 13,3 % sendo estes os lotes que registam maior redução de partículas.

De modo geral, os EF das cervejas utilizando o método BC é de 66 % comparativamente às cervejas CC que apresentam valores de 34 %, isto significa, que o primeiro método leva a uma maior rapidez face ao volume/tempo originando uma otimização do processo, mas inclui gastos externos de eletricidade e disponibilidade para uso que necessitam de ser ponderados limitando a utilização do método na empresa.

De forma a obter uma comparação mais pormenorizada na **tabela 9** verifica-se a comparação de dois estilos de cerveja GP e MN nos dois casos de métodos de filtração e as suas respetivas EF.

Tabela 9- Dados de filtração dos estilos GP e MN nos métodos BC e CC.

Lotes de cerveja	EF
GP1	1,76
GP2	7,90
GP3	6,84
GP4	7,61
MN7	0,66
MN10	4,72
MN8	11,58
MN9	13,63

Através da análise das tabelas anteriores (tabela 9) verifica-se dados bastante distintos entre os resultados de estilos MN e GP com a aplicação do mesmo tipo de filtração com métodos distintos de pressão aplicada. Os valores de BC (retângulo laranja) nos lotes do estilo GP registam valores médios de EF de 7 % comparativamente aos valores médios de CC com 5 %. Os lotes do estilo de cerveja MN apresentam valores médio de EF com o método de BC de 13 % comparativamente ao método de CC de apenas 3 %. Assim sendo, verifica-se que as diferenças de valores no estilo GP não são muito significativas, mas que no caso do estilo de cerveja MN os resultados são bastante distintos na utilização dos dois métodos de pressão. Uma das possíveis explicações para este facto poderá ser a turbidez inicial registada dos lotes filtrados com CC ser 3 vezes superior comparativamente ao lotes filtrados com BC por esse motivo pode ter surgido uma maior demora na filtração.

Na análise de parâmetros durante a filtração foi possível também retirar os seguintes dados apresentados na **tabela 10**.

Tabela 10- Dados da filtração dos estilos de cerveja filtrados nas diferentes condições de pressão.

Estilos de cerveja	Lotes de cerveja	Filtros utilizados	Turbidez inicial	EF	Número de lavagens
<i>German Pilsner</i>	GP2	3 × 5 µm	71,2	7,9	0
<i>German Pilsner</i>	GP3	3 × 5 µm	802	6,8	1
<i>Dark Lager</i>	DL6	3 × 5 µm	926	7,8	2
<i>Märzen</i>	MN10	3 × 5 µm	688	4,6	0
<i>Märzen</i>	MN8	3 × 5 µm	517	11,6	0
<i>Doppelbock</i>	DB11	3 × 5 µm	442	12,7	0
<i>Baltic Porter</i>	BP10	3 × 5 µm	379	13,3	0
<i>Saison Pale Ale</i>	SP1	3 × 5 µm	543	7,5	0
<i>German Pilsner</i>	GP4	3 × 1 µm	900	7,6	0
<i>Märzen</i>	MN9	3 × 1 µm	125	13,6	0
<i>German Pilsner</i>	GP1	5 µm + 3 × 1µm	877	1,8	2
<i>Märzen</i>	MN7	5 µm + 3 × 1µm	1000	0,7	6
<i>Indian Pale Ale</i>	IP5	5 µm + 3 × 1µm	306	1,0	3
<i>Saison Lager</i>	SL1	1 × 5 µm	890,3	0,6	4

Na tabela anterior (tabela 10) podemos ver que os resultados de EF obtidos com a utilização de BC e CC (retângulos verdes) resultaram maioritariamente da filtração com três filtros de 5 µm sendo que, a sua utilização origina um maior fluxo registando-se então uma maior rapidez na filtração. Uma das razões para os resultados de EF serem

substancialmente menores na filtração com CC poderá ser a maior quantidade de lotes filtrados e a uma maior utilização de filtros de 1 μm . A rapidez de colmatção do filtro e necessidade de lavagem dos filtros registando-se muito mais elevada na utilização do CC devido a ocorrer uma maior ΔP entre os *housing's*. Posto isto, o método BC mais uma vez, torna-se vantajoso a nível de permitir uma filtração mais rápida e uma menor colmatção, favorecendo a hipótese que otimização do processo.

5.2. Filtro de Terra de diatomáceas

A filtração de KG com o equipamento que já se encontrava na empresa necessitou de uma aprendizagem inicial do funcionamento do filtro juntamente com a correta utilização da dosagem de terras de forma a otimizar o processo de filtração. Para esta otimização foi desenvolvido um protocolo em colaboração com a empresa na qual se indica todo o procedimento detalhado de como fazer uma filtração utilizando o filtro de KG (**figura 26**).

Protocolo de filtração de terra de diatomáceas

Ano 2019/2020

Empresa Essência D'Alma

Índice

Filtro de terra de diatomáceas	1
1.Lista de componentes do filtro	1
2.Doseamento de terra de diatomáceas	2
3.Operação do filtro	5
3.1 CIP do equipamento	5
3.2. Desoxigenação do filtro	7
3.3. Enchimento do filtro	8
3.4. Preparação das pré-camadas	8
3.5. Filtração da cerveja	9
3.5.1 Temporária suspensão da filtração	10
3.5.2 Reinício da filtração	10
3.6. Término da filtração	11
4. Limpeza do filtro	11
4.1 Purga de cerveja do equipamento	11
5.Bibliografia	11

Filtro de terra de diatomáceas

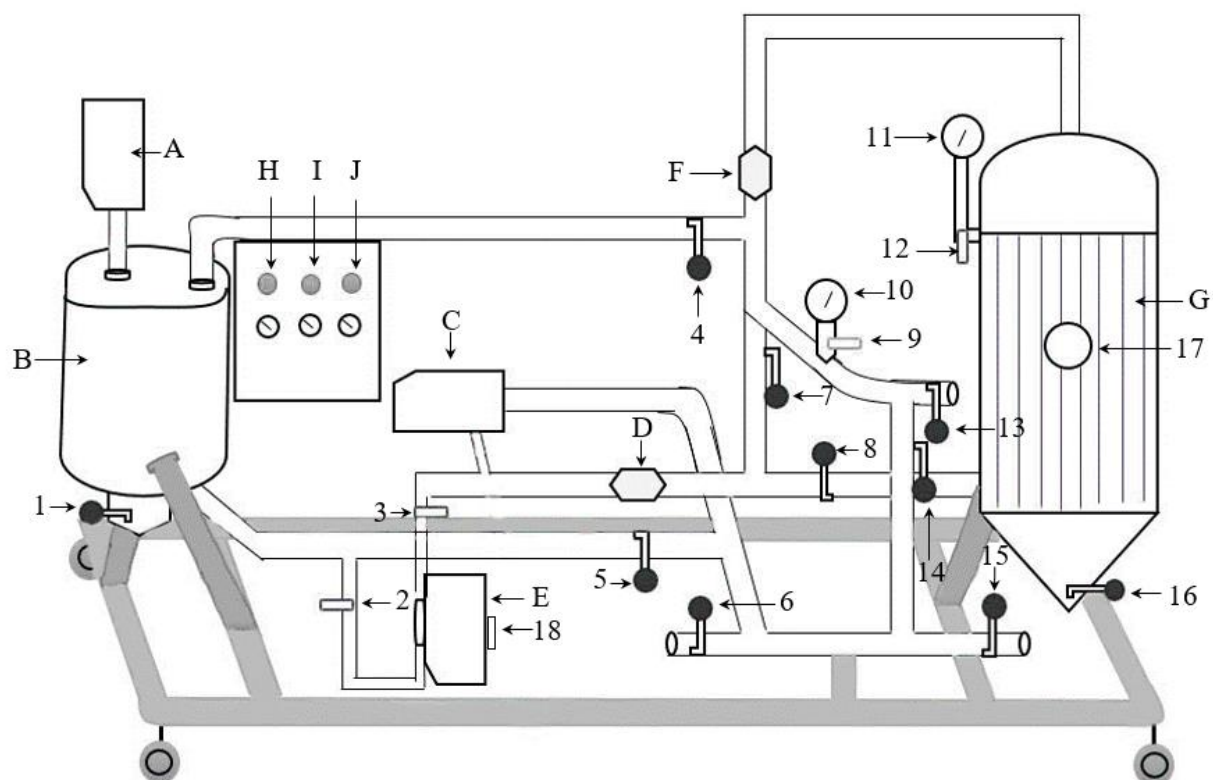


Ilustração 2- Esquema do filtro de diatomáceas utilizado na empresa Essência D´Alma.

1.Lista de componentes do filtro

A-Bomba de agitação das terras quando adicionadas ao recipiente

B- Recipiente de adição de terras para formar as camadas

C- Bomba de alimentação do produto

D- Janela de controlo visual do produto + indicador do nível de produto

E- Bomba doseadora de produto

F- Janela de controlo visual do produto

G- Recipiente de filtragem (filtro de velas)

H- Controlo ON/OFF da bomba A

I- Controlo ON/OFF da bomba C

J- Controlo ON/OFF da bomba E

- 01- Válvula de Purga de B
- 02- Válvula ON/OFF de passagem do produto
- 03- Válvula ON/OFF de passagem de terras
- 04- Válvula de passagem de produto para B
- 05- Válvula de passagem do produto interagindo com C
- 06- Válvula de entrada do produto a ser filtrado
- 07- Válvula de recirculação do produto
- 08- Válvula de entrada de produto para G
- 09- Válvula ON/OFF de amostragem
- 10- Manómetro de saída
- 11- Manómetro de G
- 12- Válvula ON/OFF de rejeição de pressão
- 13- Válvula de saída do produto a ser filtrado
- 14- Válvula de passagem de produto
- 15- Válvula de rejeição de produto em recirculação
- 16- Válvula de Purga de G
- 17- Visor de acompanhamento da pré-filtragem e entrada de produto em G
- 18- Doseadora de produto a passar pela E

2.Doseamento de terra de diatomáceas

O filtro de velas que se encontra na empresa Essência D´Alma possui 20 velas. As quatro terras utilizadas na filtração são a Randacel[®] 200, uma terra à base de celulose que forma uma camada de sustentação para a agregação das restantes terras. Posteriormente, são utilizados três tipos de terras com diferentes granulometrias, uma terra fina (Celatom[®] FP4), terra média (Celatom[®] FW12) e uma terra grossa (Celatom[®] FW50). As características de cada terra fornecida pela empresa Ângelo Coimbra, S.A. encontram-se descritas na **tabela 11 e 12**.

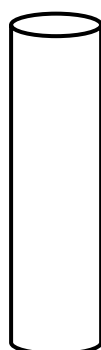
Tabela 11- Propriedades da terra Randacel[®] 200.

Parâmetros	Randacel [®] 200
Densidade aparente (g/L)	110-150
Teor de celulose	> 99%
Humidade	<7%
pH	6±1

Tabela 12- Propriedades das terras de diatomáceas denominadas Celatom®.

Terras de diatomáceas	Celatom® Fw50	Celatom® Fw12	Celatom® FP4
Origem	Diatomite de água doce	Diatomite de água doce	Diatomite de água doce
Estrutura	Fluxo-calcinado	Fluxo- calcinado	Fluxo-calcinado
Cor	Branco	Branco rosado	Amarelo-claro/Rosa
Análise granulométrica (Tyler) % + 150 Mesh (> 105 microns)	22,8	7,2	4,2
Diâmetro médio das partículas (µm)	42,0	24,0	15,0
Permeabilidade (milidarcy)*	3500	900	315
pH (suspensão 10 %)	10,0	9,5	6,5
Gravidade específica	2,33	2,33	2,25
Densidade	g/L	g/L	g/L
Volume molhado	300	336	400
Volume seco	240	224	192
Humidade livre (max % H₂O)	0,5	0,5	0,5
Retenção de partículas (µm)	< 5,0	< 1,0	< 1,0

Na filtração da cerveja são utilizadas duas pré-camadas e uma dosagem contínua. Os cálculos para a área das velas do filtro que vão determinar a quantidade de terras a utilizar nas pré-camadas pois têm de existir o recobrimento total da vela. Os cálculos matemáticos estão representados na **figura 1**.



$$\begin{aligned}\text{Cálculo matemático} &= \pi D \times h \\ &= [(3,14) \times (0,036) \times (0,7)] \times 20 \\ &= 1,58 \text{ m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}2 \text{ m} &\rightarrow 0,0220 \text{ m}^2 \\ 0,7 \text{ m} &\rightarrow x \\ x &= 1,54 \text{ m}^2\end{aligned}$$

Por isso a área do filtro estimada é 1,55 m²

Figura 1- Cálculos matemáticos utilizados na determinação da área do filtro de velas.

A área de filtro obtida foi de 1,55 m², tendo em conta a consulta do livro da autoria de Wolfgang K.¹ foi possível determinar que esta área de filtro correspondia a um gasto de terras nas pré-camadas de 1,550 kg. Ambas as pré-camadas eram constituídas por 50% desta quantidade o que representa 0,75 kg de terra de diatomáceas gastos para cada pré-camada. Na 1º pré-camada é utilizada a terra Randacel® 200 e a terra grossa. Na 2º pré-camada é utilizada uma mistura de todas as terras de granulometrias diferentes da Celatom®. Para filtrar 1000 L de cerveja será necessário 1,20 kg de terras média e finas¹. Posto isto as seguintes percentagens de terras surgem na **tabela 13**.

Tabela 13- Percentagem de terras de diatomáceas a utilizar durante a filtração.

Camadas	Rácio de terras	Terras de diatomáceas
1º Pré-camada	11%	Randacel® 200
	89%	Celatom® FW50
2º Pré-camada	60%	Celatom® FW50
	30%	Celatom® FW12
	10%	Celatom® FP4
Dosagem contínua	66%	Celatom® FW12
	34%	Celatom® FP4

Os valores para as pré-camadas não se alteram porque durante cada filtração se está a utilizar o mesmo filtro de velas (com a mesma área de filtro). Os cálculos da dosagem contínua têm de ser determinados com base na quantidade de cerveja a filtrar. A tabela seguinte mostra os cálculos feitos para determinar as pré-camadas e a dosagem contínua a utilizar durante a filtração (**tabela 14**).

Tabela 14- Tabela explicativa da quantidade de terras a utilizar no processo de filtração.

1º pré-camada		
0,75 kg		
Randacel® 200	Celatom® FW50	
11%	89%	
0,0825 kg	0,667 kg	

2º pré-camada		
0,75 kg		
Celatom® FW12	Celatom® FW50	Celatom® FP4
30%	60%	10%
0,225kg	0,450 kg	0,075 kg

Dosagem contínua	
1,20 kg**	
Celatom® FW12	Celatom® FP4
66%	34%
*	*

*Para determinação dos seguintes campos apenas se utiliza do fator de multiplicação alterando o valor em **.

**Valor alterado consoante a quantidade de cerveja a filtrar, ex: 1,20kg→1000L; 2,40kg→2000L

3. Operação do filtro

3.1 CIP do equipamento

Antes da utilização do filtro deve de ser feita sempre a limpeza com CIP para garantir que a cerveja a passar pelo filtro mantém a estabilidade e encontra-se dentro dos parâmetros de qualidade estabelecidos.

A limpeza do equipamento consiste em diversos ciclos de lavagens que são circulados pelos tubos e válvulas de forma a obter a máximo de esterilização possível. A limpeza com água remove sujidades grosseiras e produtos químicos de limpeza utilizados no processo. A utilização de detergente e ácidos reduz a carga microbiana até um nível seguro o que permite uma maior esterilização do equipamento. Esta deve de ser feita com a utilização de três soluções:

- (i) Água de rede com pressão;
- (ii) Detergente contendo 60 % quantidade de lixívia (*Mida Foam 193*);
- (iii) Solução ácida concentrada;

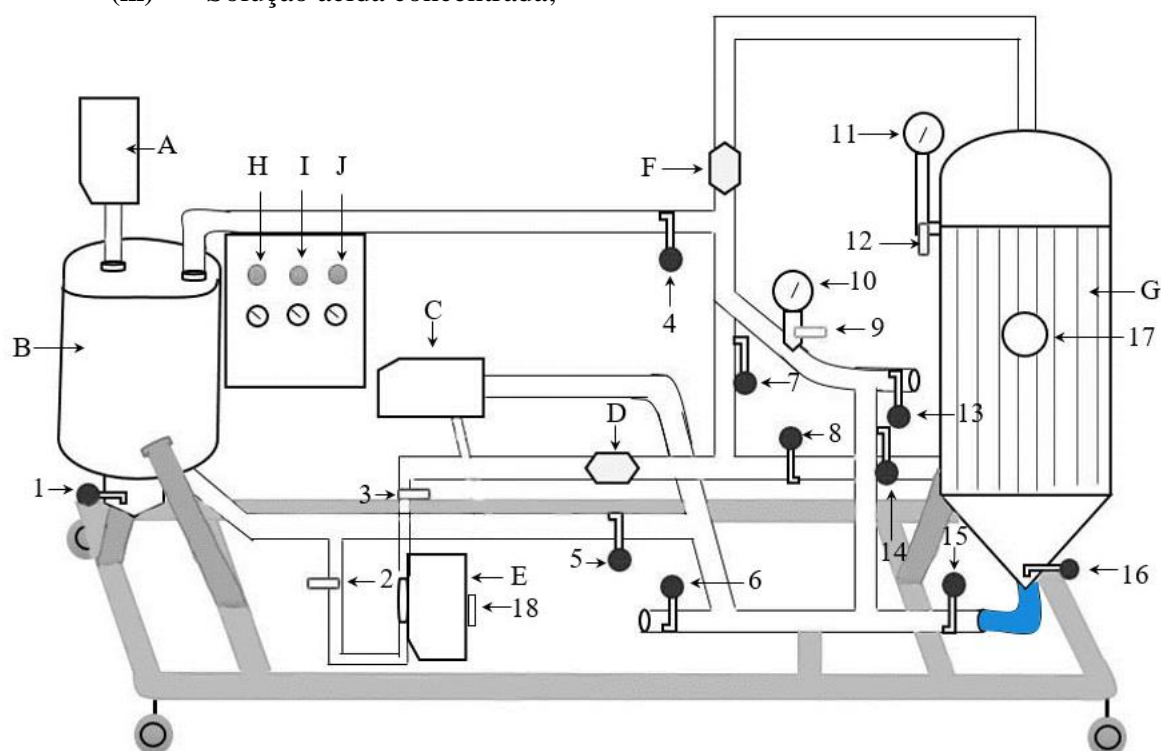


Ilustração 3-Esquematização do procedimento com a colocação de uma mangueira de ligação.

Para limpar o equipamento completamente é necessário utilizar as seguintes etapas:

Nota: Todas as válvulas do equipamento devem de estar fechadas antes da limpeza.

- a) Colocação de uma mangueira de conexão entre as válvulas 16 e 15 (**ilustração 2**);
- b) Ligação do aparelho à corrente e do motor A;
- c) Ligação da mangueira de água de rede com pressão à válvula 13;
- d) Abertura da água e abertura das válvulas 14,18 e ligação da bomba C em simultâneo;
- e) Quando o recipiente G estiver totalmente parcialmente cheio deve de ser desligada a água que vêm da rede e fechada a válvula 13;
- f) A água deve de ser reticulada pelo sistema neste circuito cerca de 20- 30 minutos;
- g) Depois desse tempo deve de ser aberta a válvula 4 parcialmente e deixar entrar água no recipiente B;
- h) Fechar a válvula 4 quando o recipiente B se encontrar parcialmente cheio e abertura das válvulas 2,3 e ligação da bomba E;
- i) Abertura da válvula 1 para poder purgar algum do líquido;
- j) Fecho das válvulas 2,3 e da bomba E;
- k) Abertura da válvula 5 e deixar verter o líquido pelo sistema até que o líquido saia totalmente do recipiente B;
- l) Fecho da válvula 5, 8, 14 e abertura das válvulas 16,15, 7;
- m) Recirculação do líquido durante 10 minutos, abertura das válvulas 6, 12 e 9 para purga do líquido.
- n) Libertação do líquido pela válvula 6 quando acabar o tempo determinado de recirculação fecho de todas as válvulas e bomba que se encontram ativas;
- o) Proceder da mesma forma para as outras soluções (solução de detergente e solução ácida);

Nota: No final passar o sistema todo por água da rede para lavagem do equipamento. A mangueira azul deve de ser desconectada do equipamento no final do processo.

3.2. Desoxigenação do filtro

Consiste em retirar o máximo de oxigénio possível do equipamento para evitar reações radicais e de oxidação que possam ocorrer durante o processo de filtração. A desoxigenação é feita utilizando um sistema de *fressline*, uma linha que contém 60% de N₂ e 40 % de CO₂.

Nota: Todas as válvulas do equipamento devem de estar fechadas antes da desoxigenação. O aparelho deve de estar desconectado da corrente.

- a) Conexão da linha de *fressline* à válvula 15;
- b) Ligar a linha de *fressline* e abertura simultânea das válvulas 15, 14, 8 e 13 pela ordem respetiva;
- c) Deixar circular o *a fressline* durante 5-10 minutos para que todo o ar do recipiente G possa ser retirado pela válvula 13. Purga do ar pela válvula 9,12 e 16;
- d) Passado este tempo deve de ser fechadas a válvula 13,14 e abertura das válvulas 7, 5,2 e 3 respetivamente de forma a passar o ar durante alguns minutos. Purga da válvula 1;
- e) Fecho da válvula 5, 2 e 3;
- f) Conexão da mangueira da cuba de entrada na válvula 6 e da cuba de saída na válvula 13;
- g) Fecho das válvulas 7 e 8 e abertura da válvula 6, 14 e 13 para poder retirar todo ar que se encontra nas mangueiras.
I: Nesta parte do procedimento deve de se utilizar o olfato para cheirar a mangueira na ponta conectada à cuba e perceber se todo o ar foi libertado.
- h) Fecho da *fressline* e fecho de todas as válvulas;

3.3. Enchimento do filtro

Para este procedimento é necessário encher o filtro com cerveja de forma a termos a formação das várias camadas antes da filtração.

Nota: A cerveja antes de ser introduzida no sistema deve de estar descarbonatada para evitar a formação de espuma. Abrir as válvulas devagar para evitar a quebra de camadas. Todas as válvulas devem de estar fechadas.

- a) Ligação da mangueira de entrada de cerveja não filtrada na válvula 6;
- b) Abertura da válvula na cuba de entrada de cerveja, da válvula 6, 8, 14 e bomba C, respetivamente;

- c) Quando o recipiente G se encontrar totalmente cheio (visto através do visor F e o líquido fluir continuamente pela válvula 9) fechar a válvula 6 e a válvula da cuba de entrada;

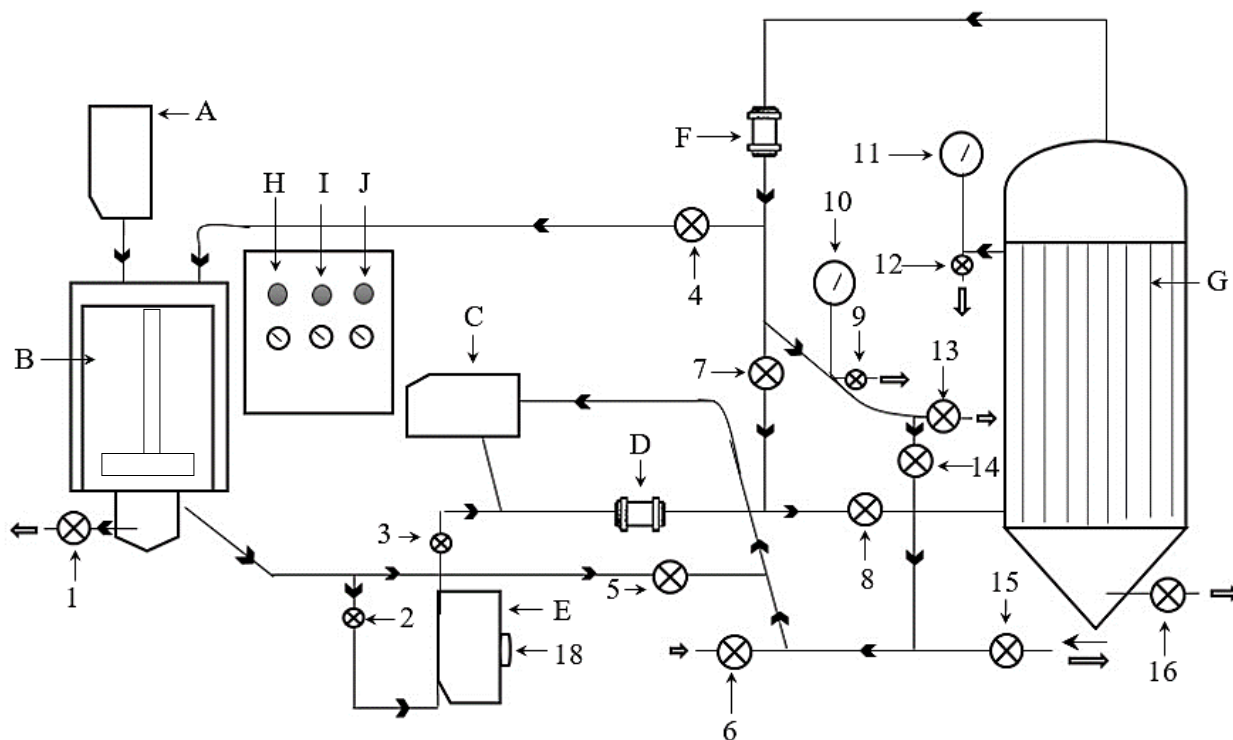


Ilustração 4- Filtro visto noutra perspetiva.

3.4. Preparação das pré-camadas

- Abertura da válvula 4 parcialmente e abertura do motor A;
 - Deixar o recipiente B encher até $\frac{3}{4}$ e fechar a válvula 4;
- I: Colocação das terras para a 1ª pré-camada no tanque B. Misturar bem as terras com a cerveja e com a ajuda da bomba A.**
- Abertura da válvula 2,3,8,14 e da bomba E no doseamento máximo, em simultâneo; Controlo da pressão que se estabelece no manómetro 11, com uma pressão superior a 0,8 bar;

Nota: Quanto maior a quantidade de leveduras e partículas suspensas na cerveja maior deve de ser a dosagem que se regula na bomba. Deve de ser ajustada gradualmente.

- Abertura total da válvula 4 e deixar a cerveja circular por todo o circuito;
- Medição da turbidez da cerveja através da purga 9;

- f) A circulação da cerveja vai depender da turbidez que a cerveja se encontra, mas deve de ser ajustada entre 10-15 minutos;
- g) Quando o recipiente B se encontra a $\frac{3}{4}$ de cerveja fechar a válvula 4, 2,3 e bomba E, abertura da bomba C;
I: Colocação das terras para a 2º pré-camada no tanque B. Misturar bem as terras com a cerveja e com a ajuda da bomba A.
- h) Abertura da válvula 2,3,8,14 e da bomba E no doseamento máximo (zero), em simultâneo e fecho da bomba C;
- i) Abertura total da válvula 4 e deixar a cerveja circular por todo o circuito;
- j) Medição da turbidez da cerveja através da purga 9. A circulação deve de ter a duração de 10-15 minutos;
- k) Controlo da pressão nos manómetros 11 e 10;
- l) Quando o recipiente B se encontra a $\frac{2}{4}$ de cerveja fechar a válvula 4, 2,3 e bomba E, abertura da bomba C;
I: Colocação das terras para a camada contínua no tanque B. Misturar bem as terras com a cerveja e com a ajuda da bomba A.

3.5. Filtração da cerveja

- a) Abertura da válvula 2,3,8,14 e da bomba E no doseamento ajustado, em simultâneo;
- b) Ligação das duas válvulas na cuba de entrada e de saída e abertura gradual da válvula 6, bomba E, parcialmente a válvula 13 (ajustar o fluxo de acordo com a pressão no manómetro 11) fecho da válvula 14, simultaneamente;
- c) Controlo da pressão nos manómetros 11 e 10;
- d) Ajustar o doseamento para a quantidade a filtrar na cuba;
- e) Acompanhar a filtração da cerveja na cuba de chegada vendo o nível;
- f) Acompanhar a turbidez que apresenta a cerveja retirando uma amostra da purga 9;

I: A pressão no manómetro 10 deve de ser sempre superior a 0,0 bar. Quando se encontra neste valor e a do manómetro 11 é superior a 0,4 MPa significa que está a ocorrer a colmatção do filtro.

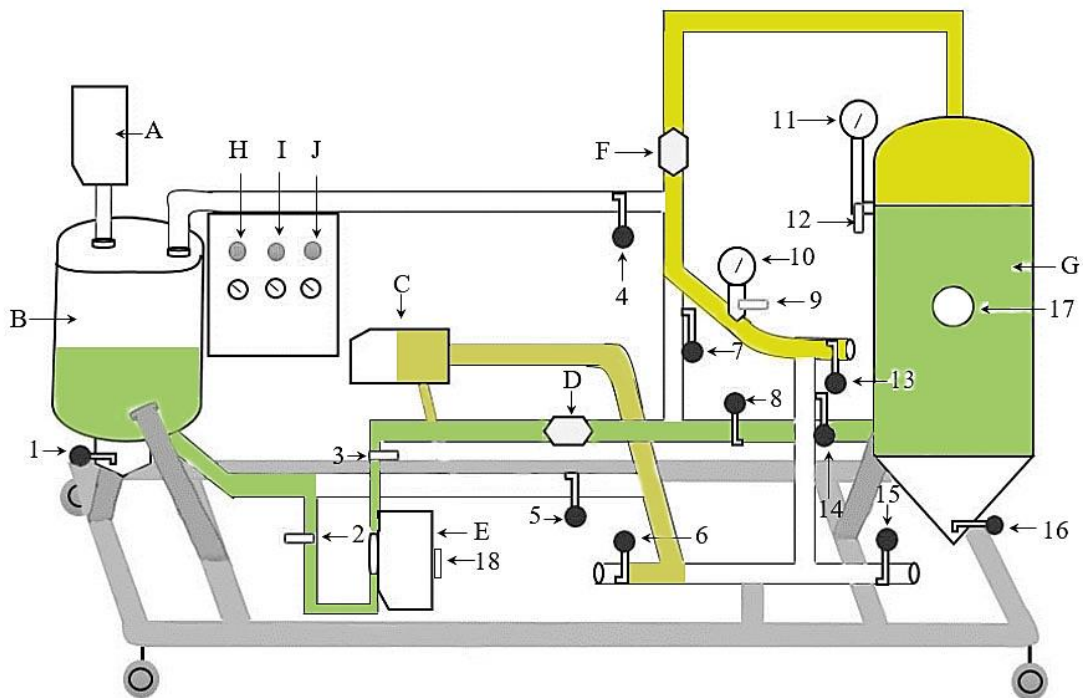


Ilustração 5- Circulação da cerveja ao longo da filtração.

3.5.1 Temporária suspensão da filtração

- Fechar simultaneamente a válvula 2,3,6,13 e a bomba E de doseamento e abrir a válvula 14;
- Deixar a cerveja circular no sistema e se for prolongada a paragem deve-se de fechar igualmente a bomba C;
- Fechar as válvulas de saída e de entrada nas cubas;

3.5.2 Reinício da filtração

- Abrir as duas válvulas nas cubas;
- Ligar as válvulas e bombas 2,3,6,13, E e C e fechar a válvula 14 em simultâneo;
- Ajustar o doseamento da bomba E;
- Controlo da pressão nos manómetros 11 e 10;
- Acompanhar a turbidez que apresenta a cerveja retirando uma amostra da purga 9;

3.6. Término da filtração

- a) Fechar simultaneamente a válvula 2,3,6,13 e a bomba E de doseamento e abrir a válvula 14;
- b) Deixar a cerveja circular no sistema e se for prolongada a paragem deve-se de fechar igualmente a bomba C;
- c) Fechar as válvulas de saída e de entrada nas cubas;

Nota: A cerveja que se encontra no recipiente G não pode ser recuperada.

4. Limpeza do filtro

4.1 Purga de cerveja do equipamento

- a) Ligação da linha de *freeline* à válvula 15 e de uma mangueira de purga à válvula 16 do filtro;
- b) Abertura das válvulas 15, 7 e 16 e da *freeline*, respetivamente;
- c) Deixar o líquido sair juntamente com a quantidade de terras e colocar num contentor onde não entre em contacto com o esgoto da fábrica;

Nota: As terras podem entupir e prejudicar o saneamento promovido pela fábrica e por isso não devem de ser descartadas na rede;

- d) Quando o recipiente G se encontrar totalmente despejado desligar a linha de *freeline* e as válvulas todas do equipamento.
- e) Fazer a purga do recipiente B através de a ligação de uma mangueira à válvula 1 e abertura da mesma para sair o líquido que se encontra em cima do recipiente;
- f) A limpeza restante deve-se fazer com a passagem de água de rede por toda a parte interna do filtro;
- g) Desligar o filtro da ficha;
- h) Limpeza de todo o sistema por fora com água de pressão;
- i) Colocação do filtro num sítio limpo e seco;

5. Bibliografia

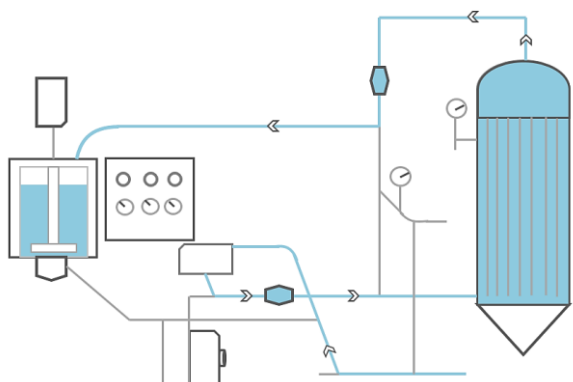
1. Wolfgang, K. (1996) *Technology brewing and malting*, 6ª Edição

5.2.1. Otimização do processo de filtração de terra de diatomáceas

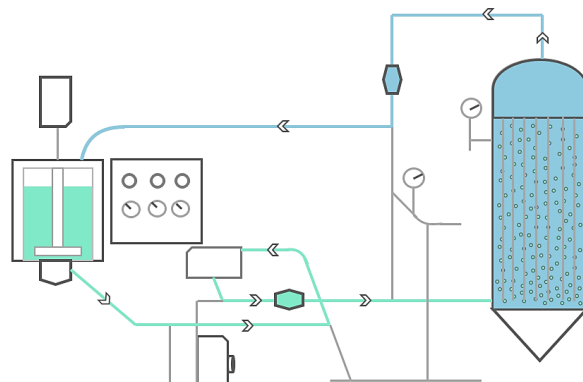
Apesar de já estar implementado o sistema de filtração de KG foram feitos testes de funcionamento novamente pois o processo não se encontrava otimizado (**Esquema 1**).

Esquema 1- Procedimento de funcionamento do filtro de Terra de diatomáceas.

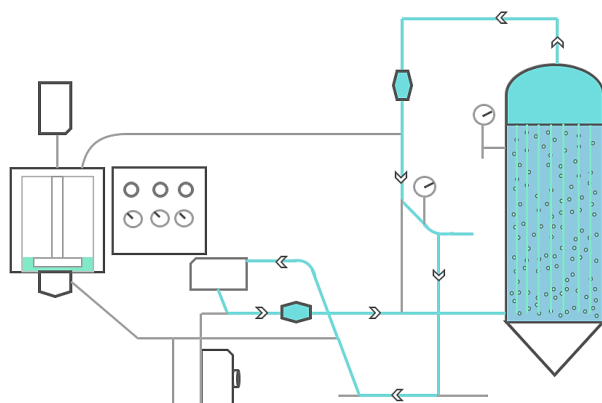
Pré-revestimento do filtro



1. Todas as válvulas devem de se encontrar fechadas. Todo o sistema deve de ser desoxigenado com *fressline* antes de qualquer procedimento. A primeira abordagem é a colocação de água no filtro de velas e a ligação do motor de agitação. Quando todo o filtro estiver totalmente preenchido de água desligar a válvula de entrada de água.



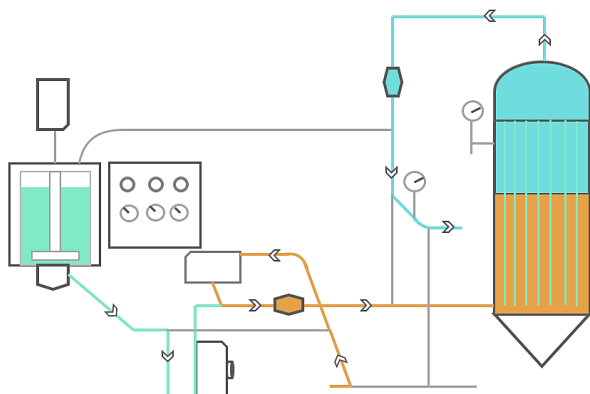
2. Adição das terras ao tanque de mistura e esperar a mistura eficiente das terras durante 5 minutos. Posteriormente são bombeadas as terras para o filtro de velas.



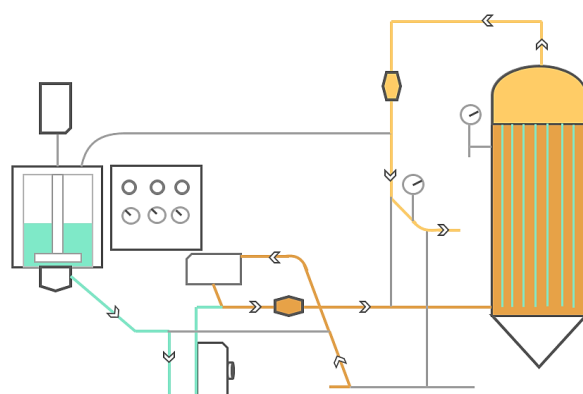
3. A mistura de terras entra no filtro de velas e ocorre recirculação de 10-15 minutos das terras juntamente com a água permitindo a formação de uma camada porosa e o preenchimento total da vela.

Todo o processo de pré-revestimento é repetido duas vezes.

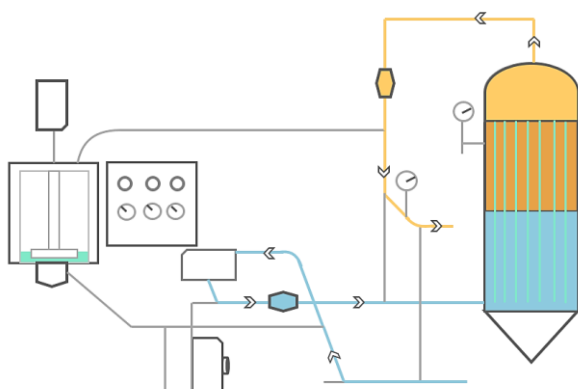
Filtração de cerveja



4. Abre-se a válvula de cerveja não filtrada ocorre a retenção de agregados coloidais nas velas e a cerveja sai do circuito límpida. Justamente com este processo são dosadas terras continuamente para o filtro para permitir a renovação da camada porosa.



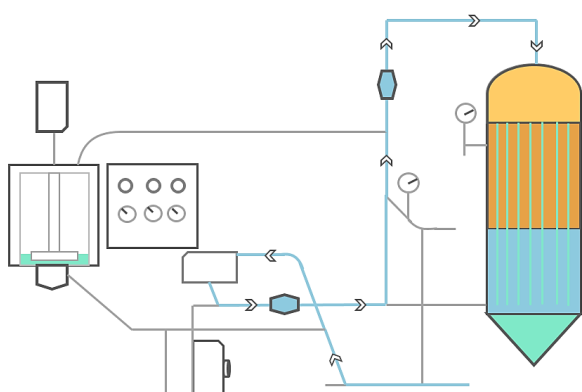
5. Justamente com este processo é ligada a bomba doseadora e são dosadas terras continuamente para o filtro para permitir a renovação da camada porosa.



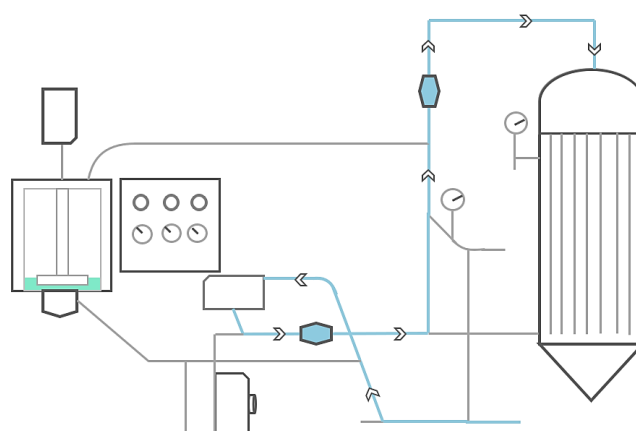
6. No término da filtração ocorre o fecho da bomba doseadora e é feito passar água para retirar o resto da cerveja que ainda se encontra no sistema. Isto é feito através de água que vai empurrar a cerveja filtrada.

Ao longo deste processo são acompanhados parâmetros de fluxo e pressão.

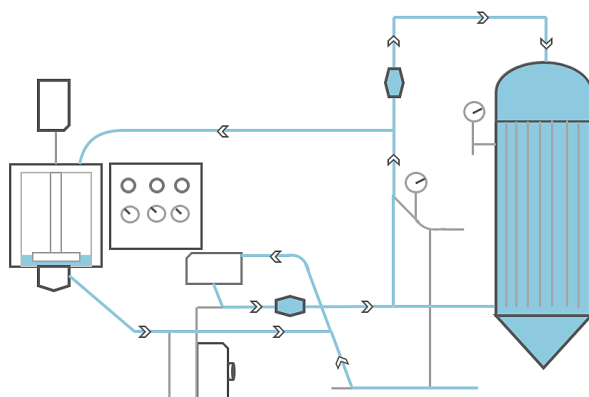
Limpeza do filtro



7. A entrada de água é realizada no sentido contrário à da filtração e são retiradas as terras do filtro.



8. Todo o circuito é lavado novamente com água para permitir a limpeza total



9. É realizado o CIP ao sistema do filtro para retirar todas as terras que se encontram no sistema.

Os volumes resultantes das filtrações dos diferentes estilos de cerveja onde cada valor corresponde a uma produção encontram-se registadas na **figura 27**.

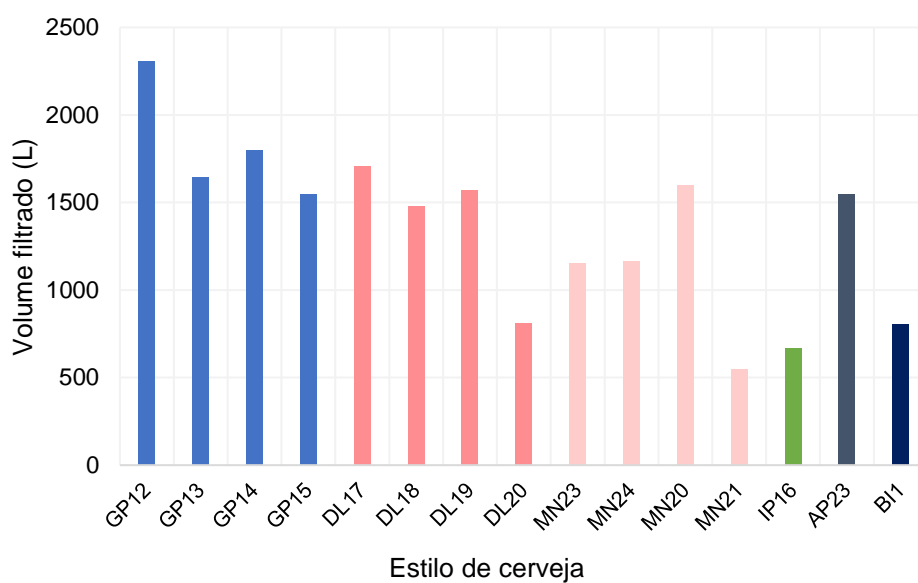


Figura 27- Volume de cerveja filtrada com KG ao longo do decorrer do estágio.

Tendo por base a cerveja que se encontrava na cuba antes da filtração e a cerveja filtrada foi calculado o rendimento da filtração que se encontra na **figura 28**.

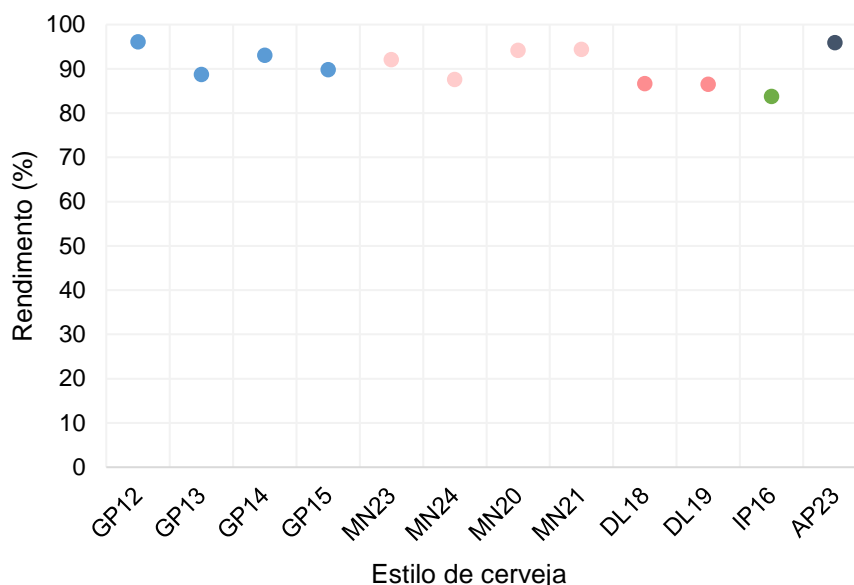


Figura 28- Rendimento das cervejas filtradas com KG.

Através da análise do gráfico podemos concluir que a média dos rendimentos é de 91% sendo que, as perdas de rendimento registadas devem-se à frequente colmatção do filtro, ou seja, obstrução do filtro com partículas de diferentes tamanhos como terras, leveduras, bactérias, β - glucanas, polifenóis que provocam uma pressão próxima do limite máximo seguro estabelecido pelo fornecedor (4 MPa), no decorrer das filtrações que originaram uma perda de cerveja por purga (por já se encontrar misturada com terra). No final de cada filtração ocorre igualmente a perda de cerveja que se encontra dentro do filtro de velas não sendo contabilizada como cerveja filtrada. Posto isto, e de forma a rentabilizar o processo quando termina uma filtração numa cuba de 2000 L procede-se logo à filtração de outra cuba com a mesma capacidade sem a necessidade de fazer de novo as pré-camadas.

No decorrer da análise de parâmetros na filtração com KG foi possível obter dados acerca da turbidez inicial e final da filtração que se encontram esquematizados na **figura 29**.

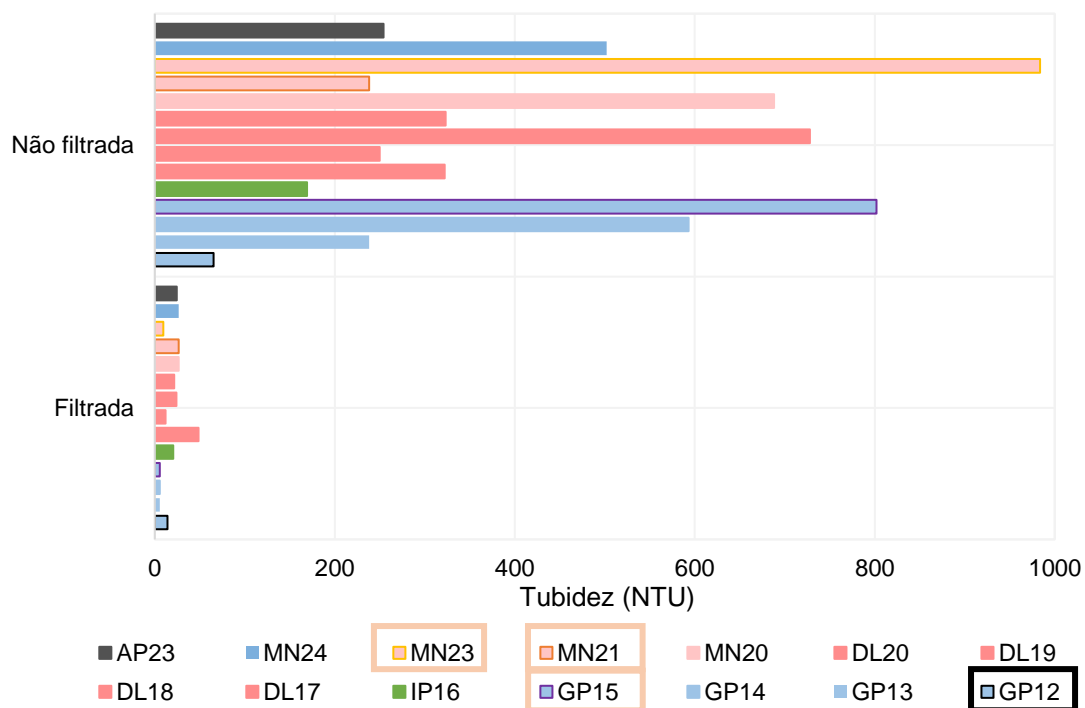


Figura 29-Turbidez dos lotes de cerveja filtrados com KG.

Os lotes de cerveja que se encontram presentes na observação gráfica (figura 29) registam todos uma redução de turbidez elevada apresentando todos valores de turbidez inferiores ao lote do estilo de cerveja DL (DL17) com 48,7 FTU. De acordo com os dados também é possível determinar que o lote do estilo de cerveja GP12 (retângulo preto) é o que apresenta uma taxa de redução de turbidez mais baixa comparativamente aos restantes lotes de apenas 78 %, pois esta fez parte do teste inicial de otimização do processamento do filtro onde a sua turbidez inicial já se encontrava muito baixa (65,2 FTU) e daí o decréscimo para os 14,1 FTU não se apresentar como um resultado muito significativo. O maior decréscimo de turbidez foi obtido pelos estilos de cerveja GP (GP15) e MN (MN21, MN23), representados no retângulo laranja com taxas de redução de 99 % e 98 % para o último lote descrito.

De acordo com Devolli *et al.*⁶⁶ (2017) na filtração de lotes de cerveja com KG obteve valores de turbidez inicial de $29,38 \pm 0,02$ FTU e de turbidez final média de $7,27 \pm 0,02$ FTU o que representa uma diminuição de turbidez em 75 %. Em comparação com os resultados obtidos verifica-se que os lotes apresentam taxas de redução de turbidez ≥ 85 % onde ocorrem taxas de redução de 90 % nos estilos de cerveja AP, 78 a 99 % nos estilos GP, 88 % no estilo IP, 85 a 97 % nos estilos DL, 88 % a 99 % nos estilos MN e 97 % no estilo de cerveja BI.

A nível visual verificam-se alterações de turbidez (**figura 30**) dos estilos MN, DL e Brut IPA (lotes MN21, DL17, BI1) filtrados com KG.

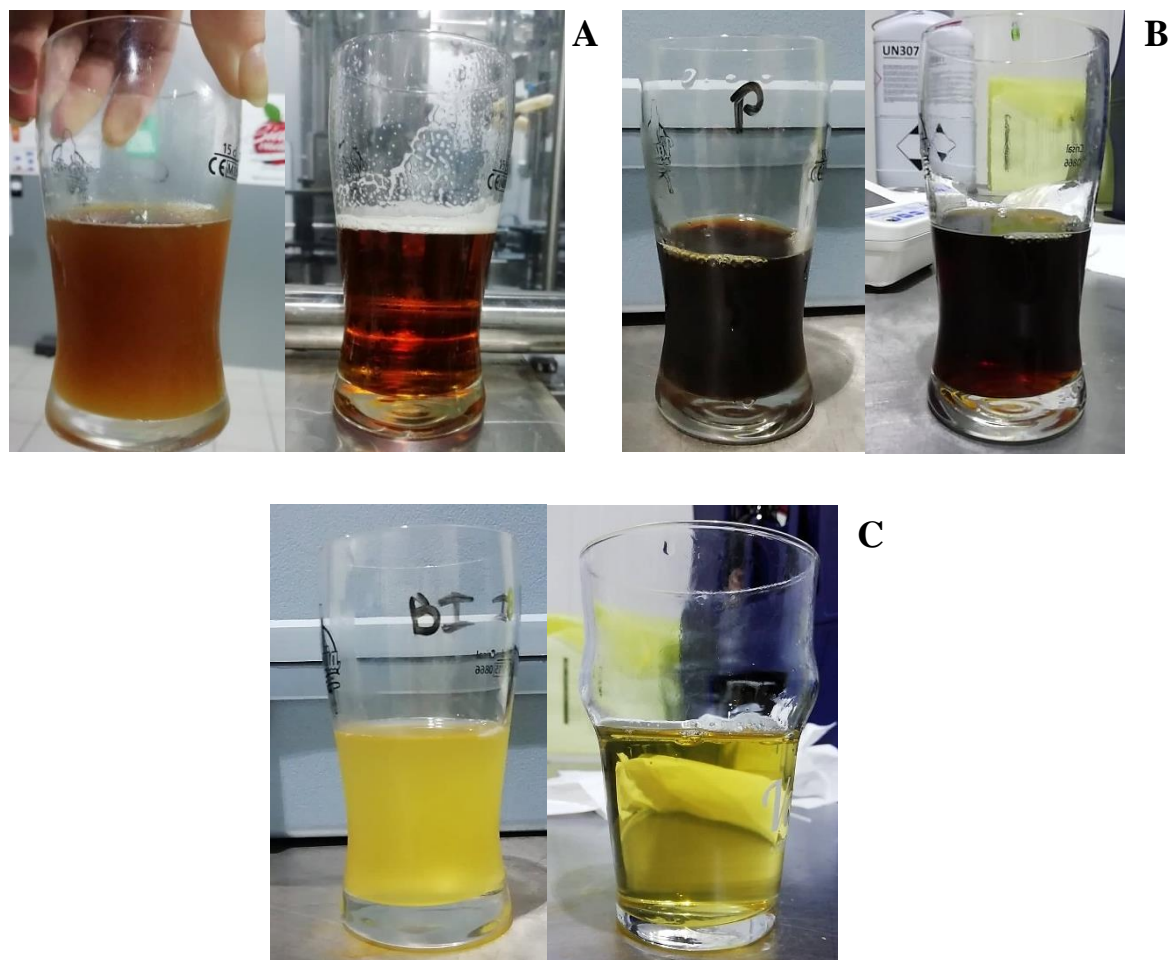


Figura 30- Imagens das alterações visuais da redução de turbidez em cervejas vadia, antes/depois da filtração. A- Lotes de MN; B- Lotes de DL; C- Lote de BI.

O registo de parâmetros no decorrer da filtração também foi possível obter os valores representados na **figura 31**, onde podemos ver o tempo de filtração (registados na dosagem contínua) juntamente com o volume filtrado de cerveja.

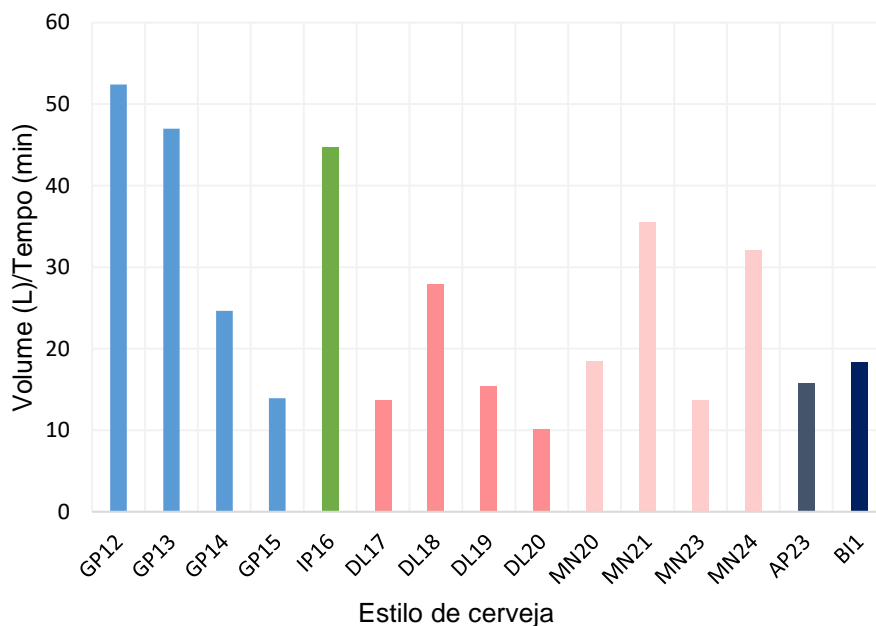


Figura 31- Fluxo dos lotes filtrados com KG representados para os diversos estilos de cerveja.

Através do cálculo de EF foi possível comparar os resultados obtidos concluindo assim que o lote do estilo de cerveja GP12 regista valores de redução de 13 %, o valor mais elevado registado pois correspondeu a uma filtração de grande quantidade de volume (2307 L) em relativamente pouco tempo (44 min). Contrariamente, o estilo de cerveja AP obteve valores bastante inferiores resultando numa filtração apenas com percentagem do EF de 4,5 %. Posto isto, e para testar melhor estas condições de filtração seria necessário a repetição das filtrações em cervejas do estilo *American Pale Ale* (contendo dados apenas de uma filtração) para poder obter uma generalidade do processo mais precisa que possa refletir melhor a realidade.

5.2.2. Ajuste da quantidade de terras de diatomáceas

Em geral, a quantidade de KG finas permitem uma maior clarificação da cerveja comparativamente as KG grossas mas por outro lado diminui a velocidade da filtração devido à sua capacidade de fechar mais o poro de filtro¹⁹. Se a cerveja possuir muitas leveduras, mas pouca partícula coloidal é aconselhada o uso de maior quantidade de terras grossas⁹⁵. A proporção entre a quantidade de KG grosso e fino deve de ser ajustada para permitir uma cerveja mais límpida como pretendido para o estilo de cerveja GP ou um pouco mais turva como é o caso do estilo DL.

No decorrer do estágio foram aplicadas e mudadas algumas dosagens tanto nas pré-camadas como na dosagem contínua de forma a estudar de que forma é que ocorria a

filtração e se a diferença entre a alteração de terras poderia influenciar a turbidez final das amostras. A dedução das quantidades de terras das pré-camadas foi inicialmente feita através do cálculo da área superficial do filtro de velas ($\pi D \times h$), onde o D corresponde a 0,036 mm e a h corresponde ao valor de 0,5 mm. No filtro presente na empresa Essência D'Alma as KG foram determinadas com base no valor de 1,14 m² de área de cada vela, correspondendo à 1º pré-camada a 30 % da KG e à 2º pré-camada a 70 % da KG. O valor da quantidade de terras na dosagem contínua foi determinado através da quantidade de cerveja que se pretendia filtrar. Estudando cada caso podemos ver na **tabela 15** a percentagem inicial de terras utilizadas para filtrar os lotes dos seguintes estilos de cerveja CP12, DL17 e BI1.

Tabela 15-Percentagens utilizada na filtração de KG.

Camadas	Rácio de terras	Terras de diatomáceas
1º Pré camada	13 %	Randacel® 200
	87 %	Celatom® FW12
2º Pré camada	90 %	Celatom® FW12
	10 %	Celatom® FP4
Dosagem contínua	66 %	Celatom® FW12
	34 %	Celatom® FP4

Nos restantes lotes de cerveja (AP23, DL20, DL18 e DL19) partindo da dosagem estabelecida na tabela 15 foram feitas alterações que resultaram em testes para tentar obter resultados mais favoráveis de filtração. No caso do lote do estilo de cerveja AP (AP23), de maneira a diminuir a colmatação tentou-se duplicar a quantidade de terras médias nas pré-camadas e camada contínua ficando então com 96 % de terras médias e 4 % de terras finas. No lote MN21 foi aplicada uma dosagem já com as terras grossas na 2º pré-camada passado para uma percentagem de 35 % de terras médias, 55 % de terras grossas e 10 % de terras finas. No caso do estilo de cerveja DL filtrado na anterior data correspondente aos lotes DL17 e DL20 verificou-se que os valores de turbidez das amostras de DL encontravam-se muito baixos (na gama dos 14-25 FTU). Desta forma, para otimizar o processo pretendeu-se que a turbidez final apresenta-se uma gama entre os 50-100 FTU, para isso retirou-se as terras finas da dosagem passando a uma quantidade de KG finas nula (0 %) e apenas se colocaram as KG média nas percentagens estabelecidas na tabela 11 na 2º pré-camada e na dosagem contínua. Com base nisto, foi feita esta experiência

nos lotes DL18 e DL19, sendo que neste último ainda se colocou metade quantidade de Randacel® 200 para poder testar se esta quantidade poderia também contribuir para o aumento ligeiro da turbidez.

A quantidade de terras utilizadas na filtração das filtradas utilizando estas dosagem de KG encontra-se representado na **figura 32**.

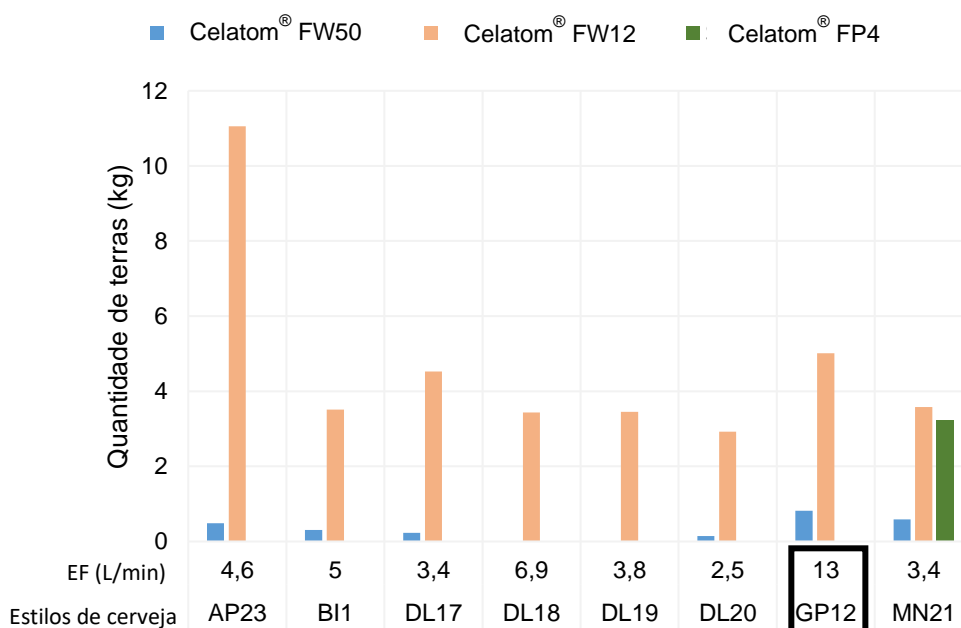


Figura 32- Quantidade de terras utilizadas nos diferentes estilos de cerveja no processo de filtração.

Através desta análise da figura 32 é possível verificar que o lote GP12 apresenta a EF mais elevada de 13 % (retângulo preto) para uma proporção de terras médias de 86 % face aos 13 % de terras finas globais apresentando uma proporção equilibrada e de acordo com a tabela 10. Nos restantes lotes foram feitos testes como no lote de AP23 onde regista uma EF de 4,6 % pois ocorreu a colmatação do filtro de velas uma vez que a redução de terras finas (4 %) aplicada neste lote fez com que houvesse uma desproporcionalidade que poderá ter gerado uma colmatação mais rápida e elevada. No estilo de cerveja DL o que apresenta uma EF mais elevado é o DL18 com 6,8 % no entanto, ocorreu uma colmatação do filtro, sendo que, no DL19 onde se alterou as proporções de terras na primeira pré-camada têm uma baixa eficiência e a colmatação ocorreu de forma mais rápida. No lote de DL20 ocorreu uma proporção de terras médias (95 %) e finas (5 %) muito semelhante ao lote de AP23 sendo que, as EF foram as mais baixas registadas de todos os lotes de 2,5 %. Na filtração do lote de DL17 durante a

filtração e com o intuito de ter uma turbidez mais elevada (50-100 FTU) parou-se a dosagem contínua, sendo que, isto levou a uma colmatação do filtro nos 2-5 minutos seguintes.

Devido à constante colmatação do filtro de velas e à necessidade de fazer novas pré-camadas que levavam a um elevado gasto de tempo tomou-se a decisão de se ajustar a quantidade de KG tanto nas pré-camadas como na dosagem contínua. A nova dosagem introduziu-se as KG de granulometria grossa em ambas as pré-camadas. Posto isto, foram refeitos os cálculos e alterou-se a área das velas ($\pi D \times h$) onde comprimento das velas o D corresponde a 0,036 mm e a h corresponde ao valor de 0,7mm. A área obtida foi de (1,54 m²), tendo em conta as expressões publicadas por Wolfgang K.¹⁹ (1996) foi possível calcular um gasto de terras nas pré-camadas de 1,550 kg/m². Atribui-se a cada uma das pré-camadas 50 % da quantidade de KG o que corresponde a 0,75 kg/m² para cada pré-camada. Na 1º pré-camada é utilizada a terra Randacel® 200 e a terra grossa. Na 2º pré-camada é utilizada uma mistura de todas as terras de granulometrias diferentes da Celatom®. Para filtrar 1000 L de cerveja será necessário uma quantidade de 1,20 kg de terras médias e finas¹⁹. Depois do novo dimensionamento obteve-se as seguintes percentagens de terras apresentadas na **tabela 16**.

Tabela 16-Percentagens utilizada depois do novo dimensionamento na filtração de KG.

Camadas	Rácio de terras	Terras de diatomáceas
1º Pré camada	11 %	Randacel® 200
	89 %	Celatom® FW50
2º Pré camada	60 %	Celatom® FW50
	30 %	Celatom® FW12
	10 %	Celatom® FP4
Dosagem contínua	66 %	Celatom® FW12
	34 %	Celatom® FP4

Mediante esta alteração foi possível registar os resultados gerais da dosagem de terras utilizada para cada cerveja encontram-se representados na **figura 33**.

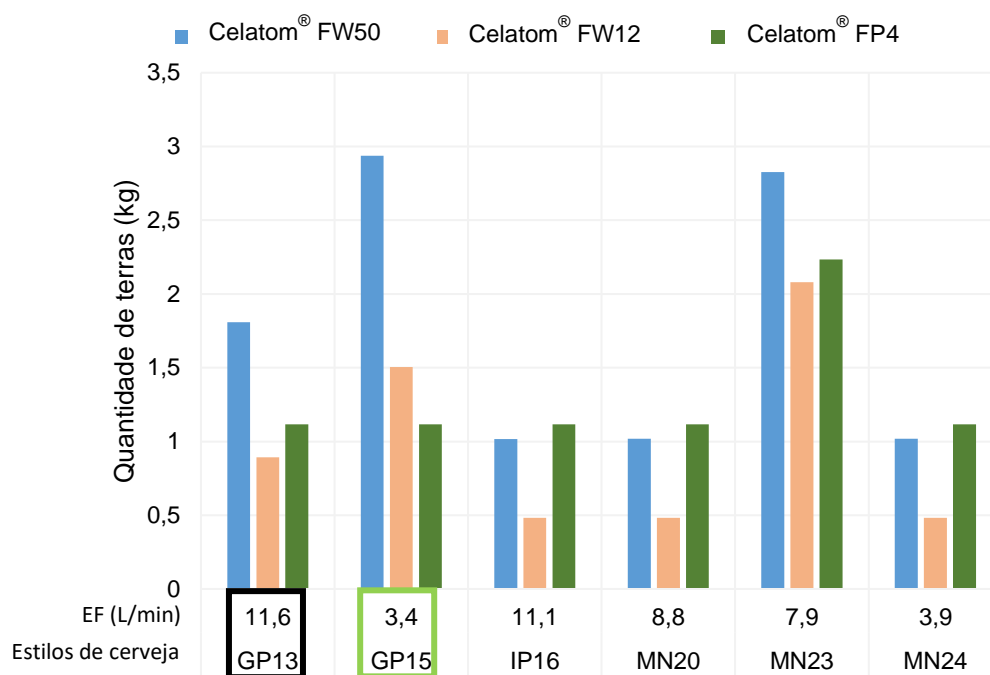


Figura 33- Quantidade de terras utilizadas nos diferentes lotes de cerveja no processo de filtração no novo dimensionamento de terras.

Através da análise gráfica da figura 33 podemos ver a evidente alteração de terras origina uma consequente redução global de terras utilizadas no processo que ocorreu para todos os estilos de cerveja filtrados. O ajuste permitiu também uma melhoria da EF da filtração sendo que, o estilo de cerveja IP16 regista os valores muito elevados de 11 % para uma turbidez inicial de 169 FTU. Comparativamente, o lote MN24 apresentou percentagens de terras gastas de terras globais semelhantes a este anterior lote de 43 % de terras grossas, 39 % de terras médias e 18 % de terras finas, no entanto, este lote obteve EF muito inferiores de 3,9 %, pois continha uma turbidez inicial de 502 FTU. No caso da GP15 (retângulo verde) com uma turbidez inicial de 802 FTU a quantidade de terras aplicadas na sua filtração correspondeu a 21 % de terras grossas, 51 % de terras médias e 28 % de terras finas sendo que, este lote registou EF bastante taxas de 3,4 FTU. No entanto, o lote GP13 (retângulo preto) com uma turbidez inicial de 238 FTU e com uma percentagem semelhante de terras utilizadas no processo apresentou uma EF muito superior ao anterior lote com 11,6%. O que se pode concluir nestes resultados é que existe uma aplicação da mesma dosagem de terras em lotes do mesmo estilo de cerveja e estes registam EF diferentes consoante a sua turbidez inicial. Por isso, o que se propõem é que

mediante a turbidez inicial deverão de ser feitos ajustes de terras principalmente na dosagem contínua.

5.2.2.1. Pré-camadas formadas com a utilização de água da rede

No decorrer do estágio também surgiu a necessidade de ocorrer uma adaptabilidade às condições de filtração e para isso, em vez da utilização de cerveja não filtrada juntamente com as KG na formação das pré-camadas utilizou-se água juntamente com as KG para formação das pré-camadas pois era o processo mais otimizado para prevenir que aglomerados expressos de agregados coloidais e leveduras provenientes da cerveja provocassem problemas de bloqueio do filtro devido à sua possível junção com as KG na etapa inicial da formação das pré-camadas do filtro (**figura 34**)¹⁹.

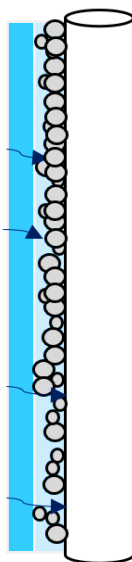


Figura 34- Formação das pré-camadas com as duas condições.

A alteração permitiu verificar que o fluxo de cerveja se apresentava superior no decorrer da filtração e que a formação das pré-camadas era mais eficaz e rápida e uniforme registrando-se melhorias no fluxo da recirculação da água pelas velas através da observação sonora e visual do equipamento de filtração. Isto pode ver-se através da **figura 35** que mostra o recobrimento das velas nas duas fases das pré-camadas (círculo laranja) verificando-se que a zona branca, que corresponde às terras, encontra-se a recobrir totalmente a vela quando termina a 2ª pré-camada.

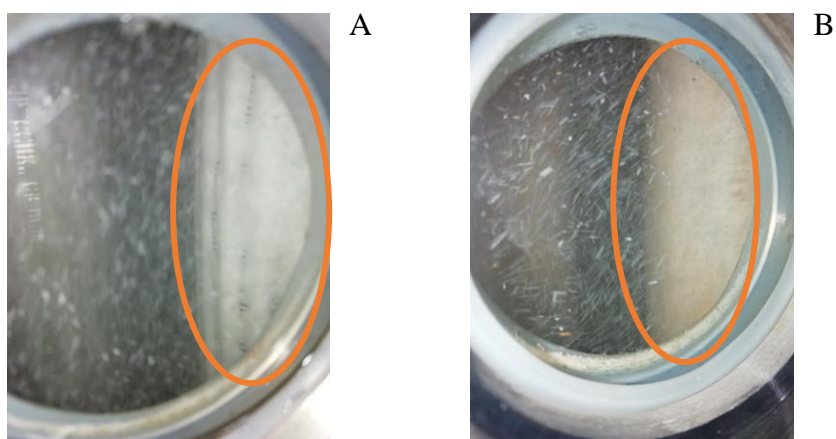
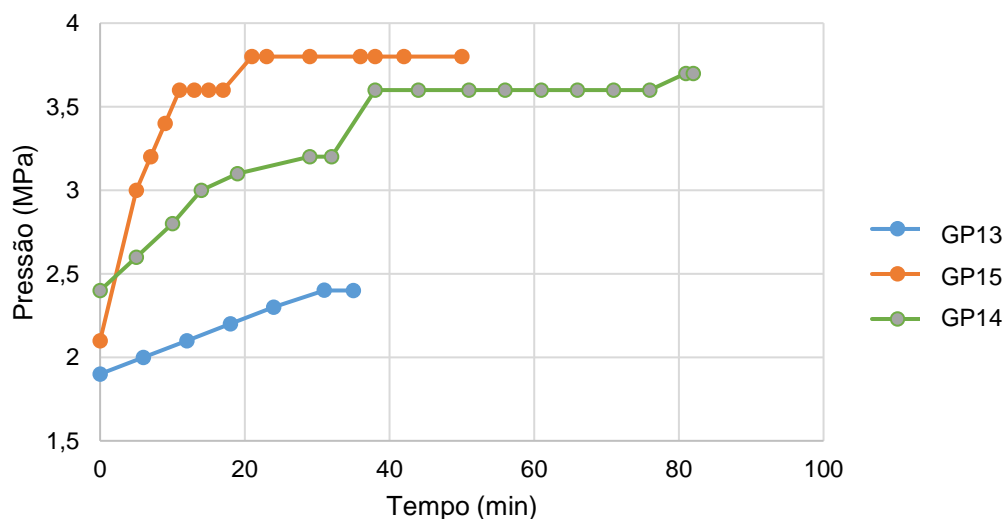


Figura 35- Imagem do visor do filtro de velas nas pré-camadas. A- 1º Pré-camada; B- 2º Pré-camada.

5.2.3. Determinação da turbidez ideal de filtração

Durante as filtrações foram feitos alguns testes para tentar avaliar a colmatação do filtro e de que forma a pressão e o fluxo variavam com a formação do bolo de filtração. Desta forma, foram testados três lotes do estilo de cerveja GP (GP13, GP14, GP15) com uma turbidez registrada no início da filtração de 238 FTU, 593 FTU e 802 FTU, respectivamente e com igual quantidade de dosagem de KG para formação das pré-camadas e dosagem contínua (**figura 36**).



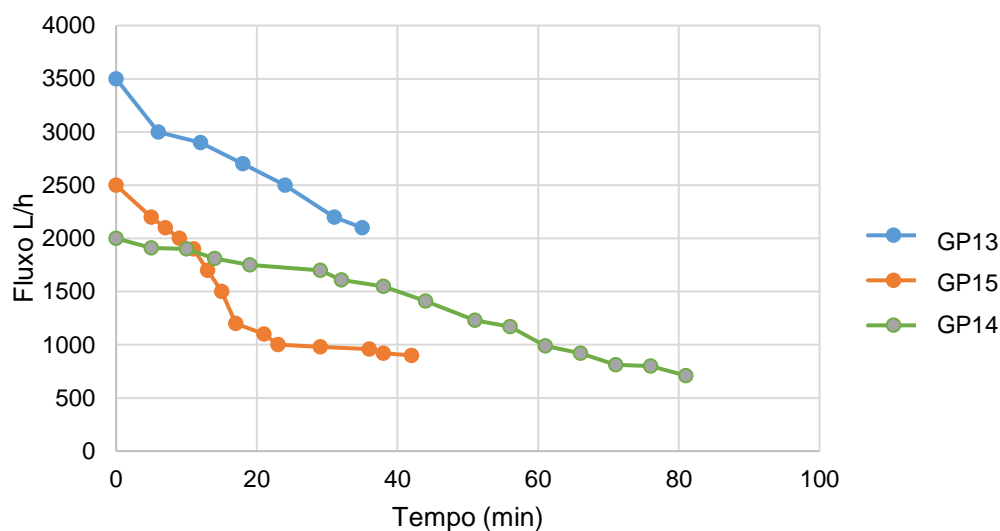


Figura 36- Valor de pressão e fluxo da cerveja do estilo de cerveja GP filtradas com KG.

Com base na análise dos três gráficos (figura 36) verifica-se uma diferença significativa os três lotes de cerveja contendo valores de turbidez inicial bastante distintos dos valores de pressão e fluxo. O lote GP13 (cerveja com menos turbidez) apresenta um aumento exponencial da pressão em 0,5 MPa entre os 35 minutos que decorreu a filtração e acompanhado de uma descida do fluxo de 1000 L/h, mas quando termina a filtração a pressão do filtro de velas é de 2,4 MPa não ocorrendo a colmatação do filtro (limite de pressão até 4 MPa).

No lote GP14 utilizou-se as mesmas pré-camadas que no lote anterior fazendo-se apenas a dosagem contínua o que levou a um registo de aumento de pressão correspondente a 1,3 MPa em 82 min (tempo decorrido de filtração) com uma descida do fluxo pontual de 1290 L/h. No decorrer desta filtração verificou-se que passado 38 minutos a pressão atingiu os 3,6 MPa verificando-se que chegou ao estado de colmatação registando-se descidas ligeiras de fluxo até terminar a filtração.

O último lote GP15 verifica-se um aumento de pressão de 1,7 MPa ao longo dos 111 minutos que decorreu a filtração com registo de descida de fluxo de 1600 L/h durante o tempo de filtração. Nos primeiros 11 minutos ocorre a colmatação do filtro, verificando-se este fenómeno pelo aumento bastante acentuado da pressão do fluxo chegando mesmo quase ao limite de pressão de 3,8 MPa e mantendo-se este valor constante acompanhado na restante filtração juntamente com uma descida do fluxo permanentemente até ao final da filtração.

Perante os resultados obtidos verifica-se que com o aumento da turbidez da cerveja ocorre uma maior quantidade de agregados coloidais que juntamente com as KG aplicadas na dosagem contínua provocam uma colmatação rápida do filtro impossibilitando que a cerveja seja filtrada. Concluindo que a KG aplicada segundo o novo cálculo de percentagem torna-se ideal para filtrar cervejas com ≤ 300 FTU de turbidez verificando uma limitação para cervejas que não se encontrem dentro deste requisito de parâmetro. Estes dados podem ser corroborados por Braun *et al.*¹⁷(2011) pois este afirma que a cerveja com elevada turbidez causa um ciclo de filtração mais curto e a colmatação mais rápida (aumento do ΔP) levando a uma menor filtrabilidade comparativamente às cervejas de menor turbidez.

A pressão de forma a provocar a mínima colmatação possível deveria de aumentar 0,5 bar/h. Analisando o lote GP13 (lote onde ocorreu a menor colmatação) verifica-se um aumento de 0,5 MPa em 35 minutos, através da consulta da literatura foi possível avaliar que deveria de ocorrer aumento de 0,025 MPa por cada 30 minutos¹⁹. De acordo com esta informação podemos ver que o processo possivelmente poderá ser ainda mais otimizado de forma a registar menos aumentos de pressão e quedas de fluxo.

6.3. Filtração de Terras vs Filtração de Cartuchos

A representação gráfica apresentada na **figura 37** mostra a turbidez final de cada um dos lotes filtrados pelos dois métodos de filtração para cada estilo de cerveja.

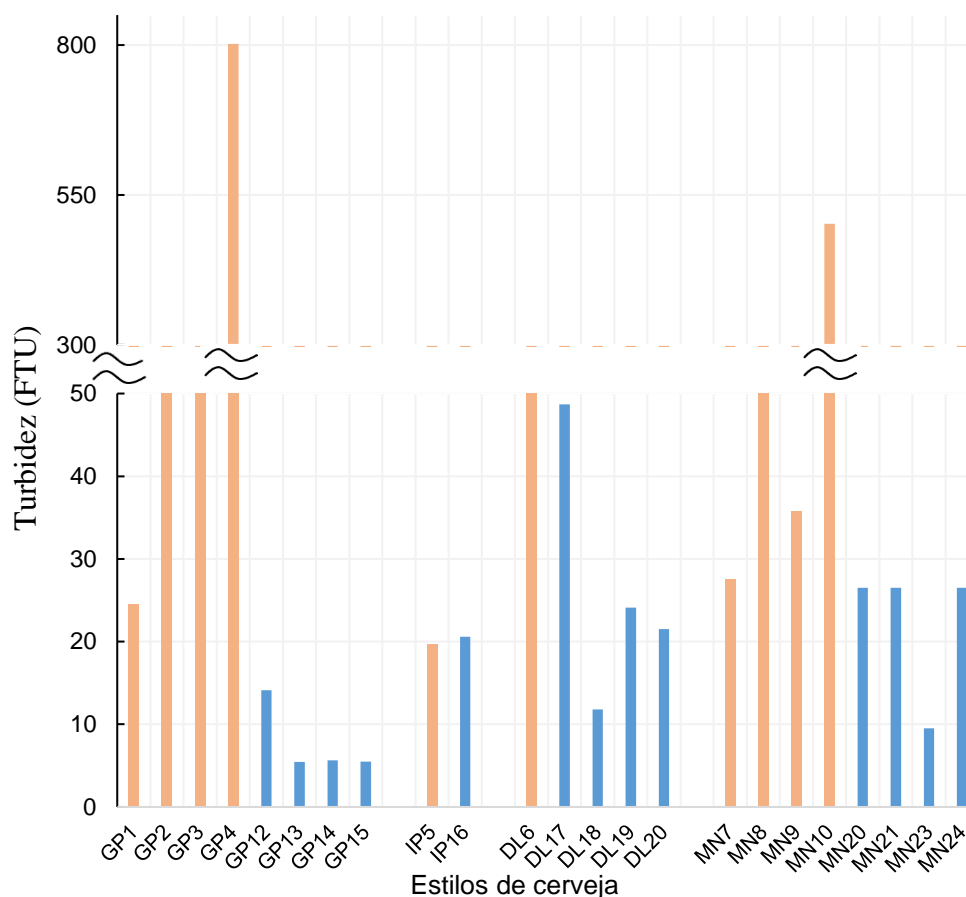


Figura 37- Turbidez de todos os lotes de cervejas vadia filtrados. Barras laranja- Filtrados com cartuchos; Barras azuis- Filtrados com KG.

Através da observação da figura 37 é possível observar diferentes valores de turbidez obtidos nos dois tipos de filtração constatando-se uma elevada diversidade dos resultados obtidos nas duas filtrações verificando-se que os lotes de cerveja filtrada com KG (barras azuis) apresentam uma turbidez muito baixa comparativamente aos lotes filtrados com cartuchos (barras laranjas). Isto pode ser reforçado através da análise dos lotes de estilos de cerveja GP, DL e MN relativamente à sua percentagem média de redução de turbidez sendo que, na KG representam valores 94 %, 93 % e 95 %, respetivamente comparando com a filtração de cartuchos onde os valores de redução de turbidez são de 54 %, 72 % e 62 %, respetivamente. A maior retenção de partículas de menor diâmetro ocorre na filtração de KG através do efeito de peneira sendo que o volume de partículas de diâmetro superior a $0,5 \mu\text{m}$ é inferior a $0,5 \mu\text{L/L}$ numa amostra de cerveja utilizando este método de filtração⁵⁰. No lote IP (IP5 e IP6) verifica-se uma exceção onde os lotes filtrados com cartuchos apresentam uma percentagem média de redução de turbidez de 94 % comparativamente aos 88 % da filtração de KG. Este resultado não se

torna muito significativo porque em ambos os lotes só ocorreu uma filtração de onde surgiram os resultados.

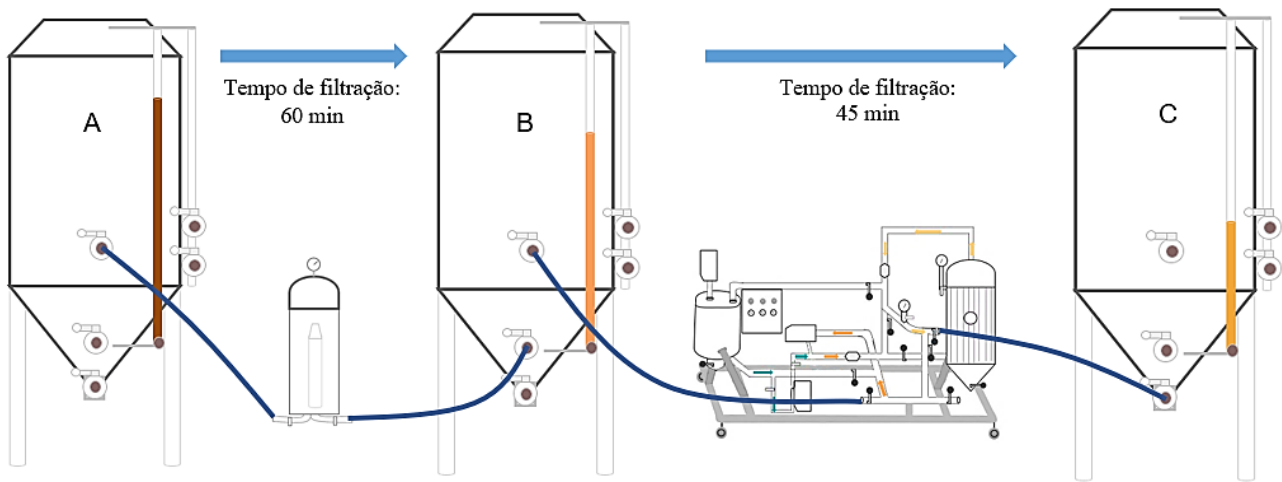
Relativamente às perdas de cerveja registados nos dois métodos da filtração constata-se que a filtração de cartuchos regista perdas de ≈ 50 L devido às lavagens dos cartuchos e término da filtração, enquanto que a KG tem uma perda de ≈ 100 L constante por cada filtração elevando-se este valor para o dobro cada vez que ocorre a colmatação do filtro devido à necessidade de fazer novas pré-camadas. Sendo que, a filtração de maior volume de cerveja é uma das soluções implementadas para reduzir esta perda, visto que a cerveja que fica no filtro de velas é sempre constante tendo assim o mesmo gasto em cada filtração.

No que diz respeito à EF filtração de KG registam-se valores nos lotes do estilo de cerveja GP de 9 % e IP de 11 % relativamente à filtração de cartuchos com valores de 6 % e 1 %, para os mesmos lotes. Por outro lado, nos lotes de estilos MN e DL na filtração de cartuchos a EF corresponde a valores de 8 % e 9 %, verificando-se uma relação contrária comparativamente à filtração de KG com valores mais baixos de 6 % e 4 %, respetivamente. Concluindo que, a filtração de KG na generalidade dos lotes apresenta uma melhor EF. Na literatura o valor de coeficiente de filtração (Q) para a filtração de KG varia entre os 2,5 – 3,5 hL/m²/h e para uma filtração de cartuchos de 5 μ m (99,9 %) o valor de Q é de $\approx 0,13$ hL/m²/h^{18,106,107}. Estes valores dependem da viscosidade de cada estilo de cerveja, mas mostram que a filtração de KG permite atingir maiores fluxos de cerveja na unidade de filtração também em parte devido ao facto do aparelho possuir uma maior filtração de quantidade de cerveja/h.

6.3.1. Combinação dos dois métodos de filtração

Os cartuchos podem ser usados de duas formas, em primeiro lugar podem servir como captura de sólidos de maior diâmetro sendo usados cartuchos de 10 e 20 μ m antes de ocorrer a filtração de KG ou para esterilização/polimento da cerveja sendo colocados após a filtração de KG⁵⁹. Desta forma, para melhorar a eficiência de redução de partículas na filtração e diminuir a turbidez foi utilizada a junção das duas filtrações (Cartuchos e KG). Primeiro procedeu-se à utilização da filtração de cartuchos de 5 μ m seguida da filtração de KG pois assim, seria possível reduzir a turbidez da cerveja inicial e evitar que na filtração de KG ocorresse a colmatação do filtro de velas. Sendo assim, os lotes de MN (MN8 e MN20) foram inicialmente filtrados 1754 L com a utilização de três cartuchos de

5 µm para uma cuba e depois com a redução da turbidez verificada foi possível fazer a filtração com KG de 1600 L para o maturador (**tabela 17 e esquema 2**).

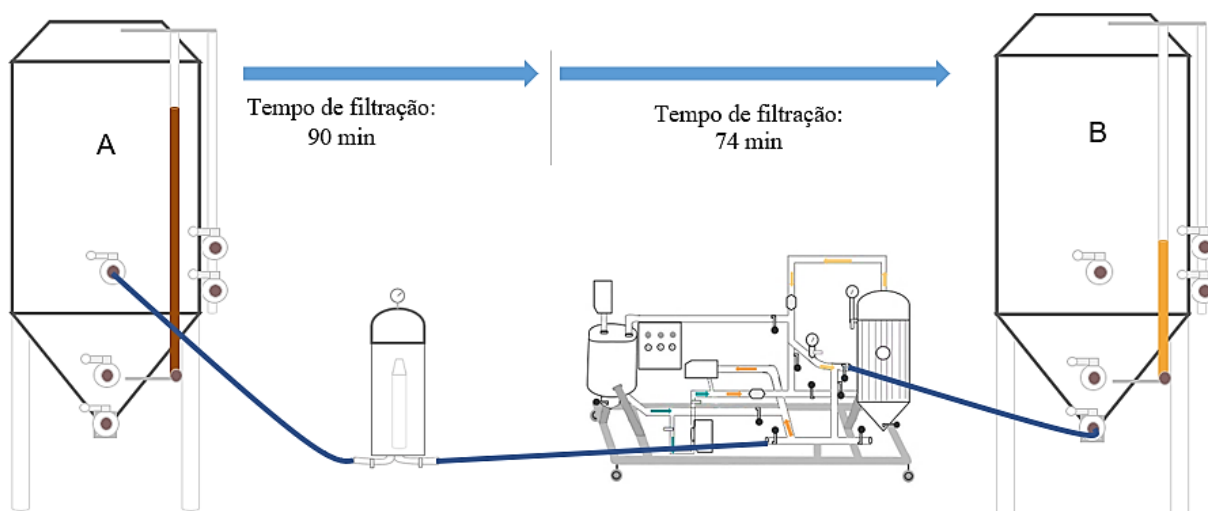


Esquema 2- Combinação do método de filtração de cartuchos juntamente com a filtração de terras com paragem em cuba do estilo de cerveja MN. A- Cuba inicial; B- Cuba filtrada; C- Maturador;

Tabela 17- Filtração de cartuchos seguida de filtração de KG a lotes do estilo MN com paragem em cuba.

	Cuba não filtrada (A)	Filtração de cartuchos de 5 µm	Cuba filtrada (B)	Filtração de Terras	Maturador (C)
Turbidez da cerveja (FTU)	517	➡	238	➡	26,5

Noutros dois lotes de MN (MN10 e MN24) foi feita uma filtração pela mesma ordem de montagem do equipamento no qual foram filtrados 1664 L com cartuchos de 5 µm e seguidamente procedeu-se à filtração de 1164 L com KG, mas não ocorreu paragem entre as duas filtrações, obtendo-se os resultados apresentados na **tabela 18 e esquema 3**.



Esquema 3-Combinação do método de filtração de cartuchos juntamente com a filtração de terras sem paragem em cuba do estilo de cerveja MN. A- Cuba inicial; B- Maturador;

Tabela 18-Filtração de cartuchos seguida de filtração de KG a lotes do estilo MN sem paragem em cuba.

	Cuba inicial (A)	Filtração de cartuchos de 5 µm	Entrada do filtro de terras	Filtração de Terras	Maturador (B)
Turbidez da cerveja (FTU)	688	➡	502	➡	26,5

Como está representado na tabela (tabela 18) ocorreu uma diminuição de turbidez inicial de 37 % e depois na filtração de KG este valor reduz-se na ordem dos 58 %. A utilização desta junção das filtrações permitiu que a turbidez inicial se reduzisse e que a pressão do filtro de velas aumentasse de forma mais ligeira. Na tabela 12 podemos observar que na filtração de KG ocorreu uma colmatção nos primeiros 30 minutos, concluindo que a redução de turbidez implementada pelo cartucho não foi suficiente para permitir que a filtração de KG se ocorresse adequadamente visto a turbidez inicial no início deste processo ser de 502 FTU. A redução de turbidez implementada com estes dois métodos foi de 96 % sendo uma redução bastante elevada.

O decorrer da filtração da cerveja do estilo de cerveja MN20 e MN10 com o KG relativamente aos valores de pressão e litros filtrados/min pode ser visualizado através da **figura 38**.

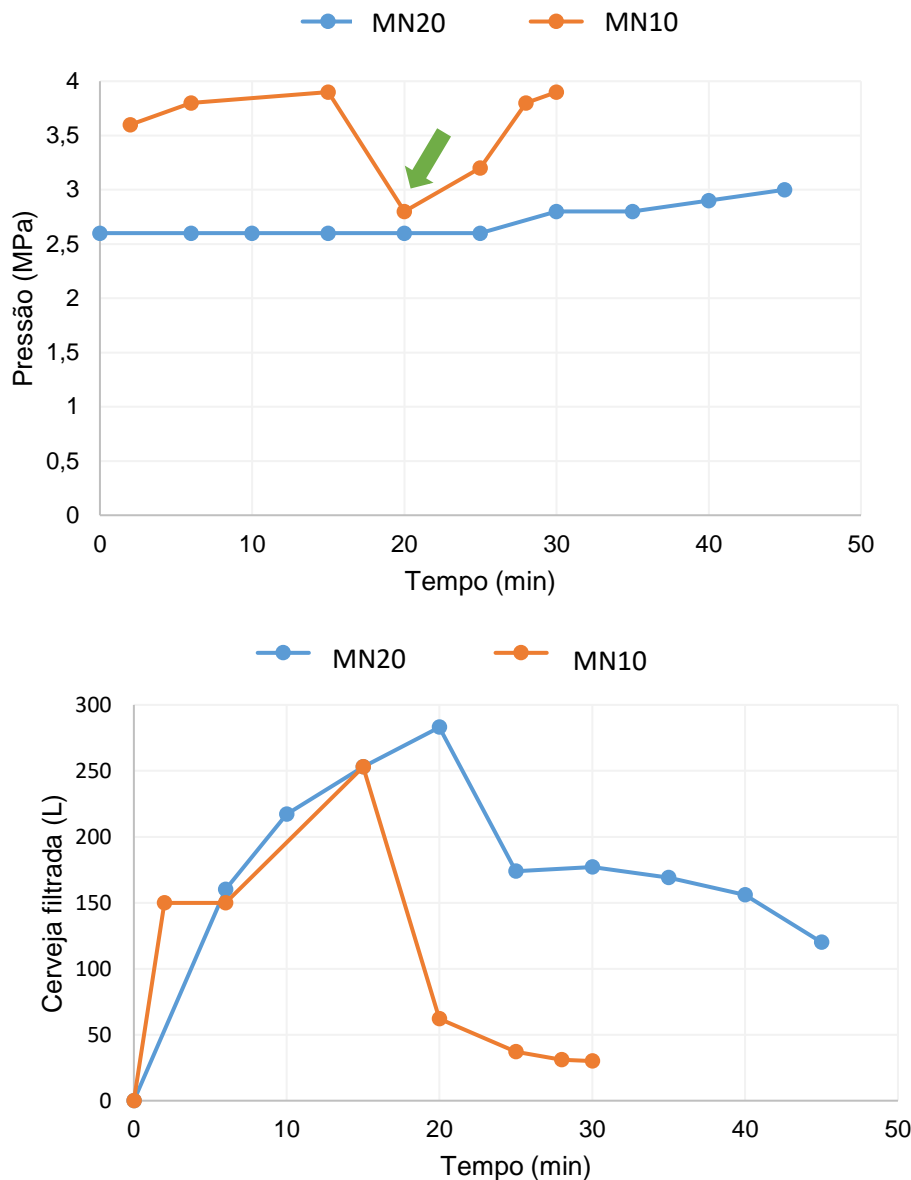


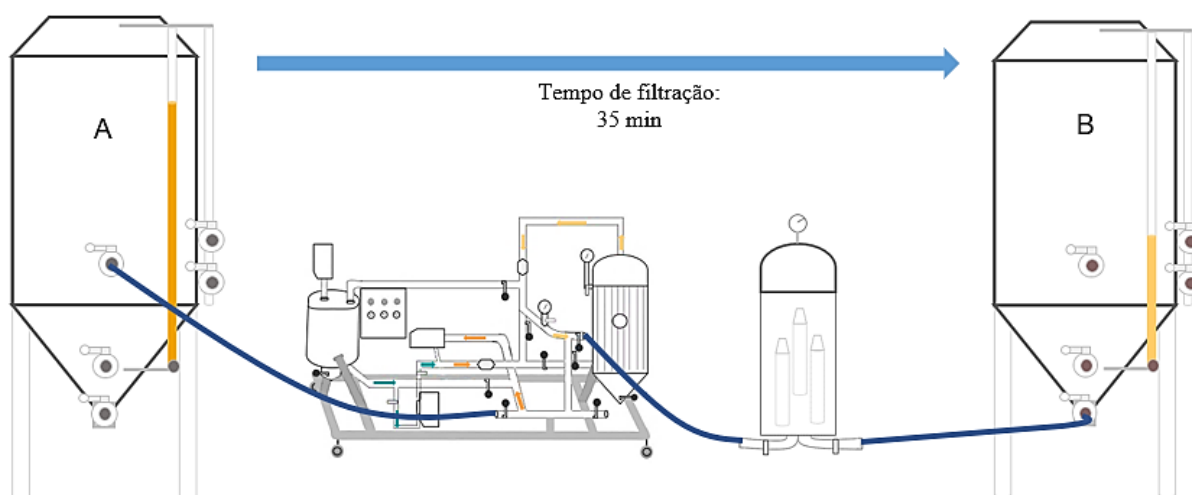
Figura 38- Fluxo e pressão de cerveja dos lotes filtrados com a combinação dos dois métodos de filtração.

Pela análise gráfica (figura 38) verifica-se no lote MN20 que a pressão com o filtro de KG não apresenta colmatção ao longo de toda a filtração, isto devido à cerveja filtrada ter pouca turbidez, no entanto ocorreu um decréscimo de fluxo e aumento de pressão passado 25 minutos desde o início da filtração. Sendo que após este tempo, a quantidade de litros filtrados/min de cerveja decrescendo continuamente até ao final da filtração chegando aos 120L/min. Por outro lado, no caso do lote MN10 a filtração iniciou-se com uma pressão muito elevada de 3,6 MPa, sendo que, passado 20 minutos foi necessário (para manter a continuidade da filtração) uma ajuste manual que levou a uma queda de fluxo de saída e entrada de cerveja e de pressão (seta verde) sendo que, mesmo com este acerto a pressão subiu muito acentuadamente chegando aos 3,9 MPa passado 30 minutos

levando à interrupção da filtração e consequente formação de novas pré-camadas para filtrar a restante cerveja. Concluindo que, na combinação das duas filtrações continuamente existem dois fatores explicativos possíveis para uma colmatção do filtro que ocorreu no lote MN10, a redução de turbidez pelos cartuchos apresentar ao longo da filtração um decréscimo e por isso a cerveja pode chegar muito turva ao filtro de KG ou o doseamento de terras que se encontra em constante funcionamento pode contribuir para a colmatção do filtro porque a chegada de cerveja do filtro de cartuchos pode estar comprometida.



Com a análise destes dois lotes filtrados nas mesmas condições verifica-se que a continuidade da filtração passando diretamente da filtração de cartuchos para o filtro de KG apresenta limitações bem como, a necessidade de maneabilidade do equipamento e gestão de espaço apesar de este método demonstrar-se como favorável em termos de gestão de tempo e de terras.

Para obter a maior clarificação possível do estilo de cerveja MN13 procedeu-se à filtração de KG seguida a filtração com três cartuchos de 1 μm (**tabela 19 e esquema 4**). Estes dois métodos surgiram como proposta pois a empresa pretendia uma clarificação máxima da cerveja de forma a poder implementar uma nova estratégia de comercialização.



Esquema 4-Combinação do método de filtração de terras juntamente com a filtração de cartuchos do estilo de cerveja GP. A- Cuba inicial; B- Maturador;

Tabela 19- Filtração de KG seguida de filtração de cartuchos a lotes do estilo GP.

	Cuba inicial (A)	Filtração de terras	Entrada do filtro de cartuchos	Filtração de cartuchos de 1 µm	Maturador (B)
Turbidez da cerveja (FTU)	238		5,43		2,43

Na tabela anterior verifica-se que o tempo foi bastante reduzido para filtrar os 1645 L e que a turbidez final de 2,43 FTU representa um valor satisfatório comparativamente ao anterior lote de GP filtrado com 14,1 FTU de turbidez. A redução de turbidez implementada com estes dois métodos nesta disposição foi de 99 %.

A combinação dos dois métodos de filtração nesta disposição é vantajosa no sentido que permite uma redução de turbidez mais eficaz e diminuição do tempo de filtração com KG como foi o caso do lote MN20 mas apresenta também algumas limitações como as perdas de cerveja que são registadas e que se espera corresponderem a um número elevado (300 L) e para além disso, a disponibilidade de filtros de cartuchos novos ou quase não utilizados é essencial para reduzir ao máximo a turbidez durante o processo.

6.3.2 Cervejas com turbidez inicial distinta

Na análise da turbidez inicial (antes da filtração) de cervejas pertencentes ao mesmo estilo e verificou-se que este valor se apresentava distinto para os diferentes lotes sendo estes produzidos da mesma forma. Uma das evidências que se colocou como hipótese para ocorrer este fenómeno foi a tempo/temperatura que os lotes permaneciam na maturação (**tabela 20**).

Tabela 20-Temperatura dos lotes do estilo de cerveja GP.

Lotes de cerveja	Tempo de maturação (dias)	Temperatura (°C)	Turbidez antes da filtração (FTU)
c/FC			
GP1	5	3,9	877
GP2	12	1,3	71,2
c/KG			
GP13	14	2,5	238
GP14	7	2,5	593
GP15	5	2,5	802

*c/FC- Com filtração de cartuchos

*c/KG- Com filtração de terras de diatomáceas

Como se pode constatar pela tabela a combinação do tempo de maturação com a temperatura mais baixa faz com que a turbidez tenha diminuído nos dois lotes de GP (GP1 e GP2) na filtração com cartuchos. Contudo, quanto maior o tempo que permanecem na maturação mais a turbidez vai decrescendo como verifica-se na diferença entre os lotes GP13 e GP15 filtrados com KG. Os resultados observados estão de acordo com a literatura¹⁰³, onde se demonstra uma diminuição da turbidez para um maior período de maturação que, neste caso, foi de 15 a 30 dias sendo que, ocorrendo uma descida de 41,1 FTU, explicada pela maior sedimentação de na parte cilindro-cônica originando um maior fluxo de cerveja/h¹⁰⁷. Relativamente à temperatura, Bamforth *et al.*¹⁸ indica que deve existir um período de maturação após se retirar as leveduras da cuba entre 2-3 dias a uma temperatura de estabilização de -1 °C. Segundo isto, na empresa é indicado que ocorra um maior tempo de armazenamento possível na cuba, sendo este durante ≥ 2 semanas a temperaturas inicialmente de 5-7 °C durante 2-8 dias como indicado na literatura¹⁸ e depois de se retirar as leveduras esta temperatura deve de ser o mais baixa possível, sendo que na empresa devido à limitação da capacidade de refrigeração deve de ser entre 0-2,5 °C.

Outras das causas de cervejas do mesmo estilo apresentam valores de turbidez diferente podem estar relacionado com o contacto com o O₂ pois este origina formação de radicais livre e oxidação de polifenóis sendo que, este pode surgir de forma distinta na fermentação (administração de maior ou menor quantidade de O₂ na cuba)⁷⁶. As leveduras como são reutilizadas também podem ter diferente viabilidade quando são introduzidas na cuba para fermentar o que vai diferir no tempo e forma de floculação dependendo da quantidade de substrato metabolizável, gerando problemas de turbidez se ficaram em suspensão. Anteriormente, no processo também podem surgir outras etapas que vão influenciar a turbidez dos lotes de cerveja como a filtração do mosto que têm uma duração indeterminada e difere mesmo dentro do mesmo lote. Por vezes, nesta parte do processamento ainda se encontra muita parte filtrável na cuba recorre-se a uma terceira lavagem originando o surgimento de polifenóis de alto peso molecular. Na ebulição pode ocorrer a permanência de temperaturas elevadas durante mais tempo originando maior precipitação de proteínas e na decantação do mosto a maior quantidade de partículas “trub” não decantadas pode limitar os restantes processos. Isto tudo resulta de um processamento da cerveja que ainda não se encontra muito automatizado diferindo em alguns pontos do processo.

6.3.3 Teor de sólidos solúveis totais e pH das cervejas filtradas

Ao longo da filtração foram registados valores de sólidos solúveis totais (°Brix) e pH que decorreram com os dois sistemas de filtração dos estilos de cerveja que se encontra apresentados na **tabela 21**.

Tabela 21-- Parâmetros de °Brix e pH registados para cada um dos estilos de cerveja antes e depois da filtração.

Lotes de cerveja	°Brix inicial	°Brix final	pH inicial	pH final
Filtro de cartucho				
GP3	6,8	6,7	4,53	4,52
GP4	6,7	6,8	4,48	4,53
MN8	9,1	8,9	4,64	4,67
MN9	8,3	8,4	4,33	4,30
MN10	8,7	8,6	4,63	4,62
BP10	13,3	13,4	4,75	4,71
DB11	11,4	11,4	4,63	4,58
Filtro de KG				
GP12	6,8	6,7	4,43	4,43
GP13	6,9	6,8	4,15	4,15
GP14	6,6	6,5	4,45	4,43
GP15	6,8	6,6	4,53	4,37
IP16	8,3	7,5	4,40	4,42
IP17	6,9	6,7	4,36	4,32
IP18	7,1	7,2	4,49	4,51
IP19	7,3	7,2	4,47	4,51
IP20	6,9	6,4	4,36	4,31
MN20	8,7	8,5	4,63	4,67
MN21	9,1	8,9	4,64	4,67
MN23	8,7	7,8	4,63	4,61
MN24	8,7	8,5	4,63	4,67
MN23	6,6	6,3	4,18	4,22
BI1	4,5	4,5	4,20	4,18

Analisando a tabela verifica-se que os valores de °Brix diferem substancialmente para o mesmo estilo de cerveja. Para além disso, foram registadas variações não significativas (ANOVA $p > 0,05$ (0,75)) na filtração de cartuchos verificando-se registos de aumentos (laranja), diminuições e mantimento (verde) dos valores comparativamente ao início e fim da filtração, porém na filtração de KG apenas ocorrem mantimento e diminuições do °Brix. Durante a filtração existe uma diminuição da quantidade de carboidrato de elevado peso molecular como as AX e as β - glucanas que ficam retidas no filtro^{104, 105}, no entanto como só estamos a medir os sólidos solúveis totais e não o total

de carboidratos, tanto os açúcares como polissacarídeos solúveis não são retidos em nenhum dos sistemas de filtração.

No caso do pH em ambos os tipos de filtração os resultados demonstram que ocorre igualmente variação de valores estatisticamente não significativos (ANOVA $p > 0,05$ (0,90)). No entanto, observa-se uma diminuição muito ligeira com o filtro de cartuchos pois pode ocorrer a retenção pelo filtro de proteínas causadoras de espuma (proteínas Z e as LTP)⁸³. Na filtração de KG os resultados são mais uniformes verificando-se valores de pH constantes.

III. Conclusões

Na dissertação foi possível a otimização do processo da filtração de cartuchos e de KG sendo que, foram criados e implementados protocolos de filtração na unidade fabril.

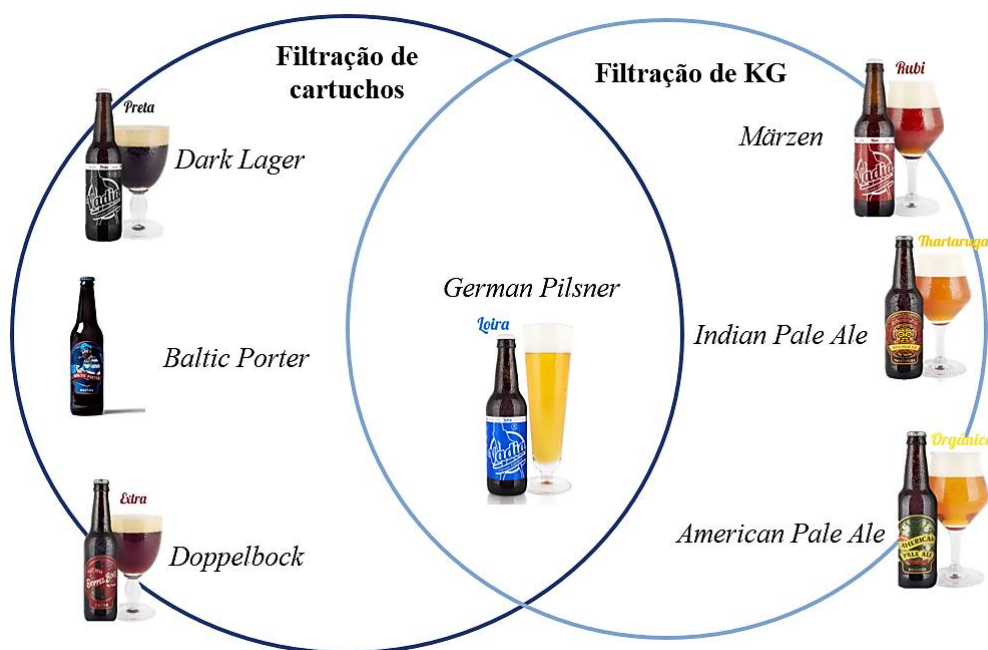
Para os diferentes estilos de cerveja os rendimentos de filtração com cartuchos são de 93 % comparativamente aos 91 % obtidos com a filtração de KG pois esta filtração implica mais perdas de cerveja. Relativamente à filtração de cartuchos foram usados dois métodos na qual se variava a pressão, um com o uso da contrapressão e outro com de uma bomba na filtração, para os diferentes estilos de cerveja os resultados apontam para uma melhoria de cerca de 8 % no processo, de acordo com o fluxo de cerveja filtrado com o uso de bomba.

Na otimização do processo de filtração com terra de diatomáceas (KG) foi proposta a utilização de uma nova dosagem de terras que permitiu melhorar a eficiência do processo e evitar a colmatção frequente do filtro. A par desta mudança também foi utilizado água para proceder à formação das pré- camadas registando-se melhorias no tempo de filtração. O processo de filtração com KG relativamente à redução de turbidez é em 18 % superior comparativamente à filtração de cartuchos para todos os estilos de cerveja. Relativamente à eficiência da unidade de filtração os resultados apresentaram diferenças dependendo do estilo de cerveja, concluindo que nos estilos de cerveja *German Pilsner* e *Märzen* ocorre uma melhoria de 10 % na filtração de KG.

Na análise da turbidez de cerveja verifica-se que a nova dosagem aplica-se a cervejas que possuam uma turbidez inferior a 300 FTU pois não ocorre a colmatção do filtro. Para cervejas com uma turbidez superior a 500 FTU é recomendado o uso de uma filtração combinada onde a cerveja pode ser primeiro filtrada com cartuchos de forma a reduzir a turbidez e depois pode ocorrer a filtração de KG com a dosagem dimensionada, tendo em vista que este método foi utilizado em cervejas do estilo *Märzen* e contribui para uma taxa de redução geral de 96 %. No caso de estilo de cerveja *German Pilsner* é aconselhado fazer a combinação dos dois métodos utilizando um filtro de cartuchos de 1 µm após a filtração de KG pois foram registadas taxas de redução de turbidez no lote filtrado de 99 %. A turbidez inicial é um ponto fulcral e determinante no processo de filtração sendo que, esta pode ser controlada através das temperaturas e tempos de maturação dos estilos de cerveja.

Nas análises dos sólidos solúveis totais (°Brix) e do pH nas duas filtrações foram registadas alterações não significativas com $p > 0,05$ (ANOVA) nas duas análises verificando-se que na filtração de KG ocorre uma maior uniformidade de valores e maior estabilidade da cerveja.

Conclui-se que o parâmetro de turbidez inicial e final da cerveja determina o decorrer da filtração nos dois métodos sendo que, a otimização de todo o processo foi implementada para os vários estilos de cerveja com o dimensionamento das terras e com a utilização de água de rede na filtração de KG e com a utilização do método da bomba na filtração de cartuchos. Posto isto, e de acordo com o **esquema 5** para os estilos de cerveja *Märzen*, *American Pale Ale*, *Indian Pale Ale* deve de ser utilizada a filtração de KG sendo que, nestes estilos pode surgir a necessidade da utilização da combinação dos dois métodos de filtração. No estilo de cerveja *German Pilsner* deve de se utilizar a combinação dos dois métodos de filtração permitindo que a cerveja fique o menos turva possível e no caso dos estilos *Dark Lager*, *Baltic Porter*, *Doppelbock* é aconselhado o uso de uma filtração de cartuchos de 5 μm com a utilização da bomba. Por fim, é de salientar que para futuras aplicações destes dois métodos é pertinente melhorar a dosagem de terras na dosagem contínua para cervejas com uma turbidez muito elevada. Bem como, deve ocorrer um acompanhamento do envelhecimento no maturador das cervejas com a monitorização da turbidez de forma a tentar controlar a estabilidade da cerveja.



Esquema 5- Tipos de filtração a utilizar para cada estilo de cerveja. Imagens retiradas de ¹⁰⁸.

IV. Referências Bibliográficas

1. Gastoni, F., (2018) *Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia*, 2º Edição.
2. Hardwick, W. (1994) *Handbook of Brewing*, CRC Press, 2º Edição.
3. Preedy, R. (2011) *Beer in Health and Disease Prevention*, Academic Press, 1º Edição.
4. Decreto-Lei 324/98, 1998-10-30, Diário da República Eletrónico no site <https://dre.pt/pesquisa/-/search/229104/details/maximized>, (Accessed: 6th November 2019).
5. Dados Económicos do Setor Cervejeiro. Available at: https://www.cervejeirosdeportugal.pt/dados_economicos/, (Accessed: 7th November 2019)
6. Cervejeiros de Portugal. Available at: <https://www.cervejeirosdeportugal.pt/>, (Accessed: 7th November 2019)
7. Elzinga, G., Tremblay, H. e Tremblay, J. (2015) *Craft Beer in the United States: History, Numbers, and Geography*, Journal of Wine Economics, 10, 242–274 [doi:10.1017/jwe.2015.22](https://doi.org/10.1017/jwe.2015.22)
8. Mastanjević, K. (2018) *Beer - The Importance of Colloidal Stability (Non-Biological Haze)*. Fermentation, 4, 91 <https://doi.org/10.3390/fermentation4040091>
9. Stewart, G. (2016) *Beer Shelf Life and Stability*, The Stability and Shelf Life of Food, 293–309, [doi:10.1016/B978-0-08-100435-7.00010-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100435-7.00010-1)
10. Leiper, A. e Miedl, M. (2009) *Colloidal Stability of Beer*, Beer: A Quality Perspective, 111–161 [doi:10.1016/B978-0-12-669201-3.00004-X](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-669201-3.00004-X)
11. Cheremisinoff, P. (1998) *Liquid filtration*, Elsevier, 2º Edição.
12. Bamforth, W. (2017) *Progress in Brewing Science and Beer Production*, *Annual Review of Chemical and Biomolecular Engineering*, 8, 161–176, [doi:10.1146/annurev-chembioeng-060816-101450](https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060816-101450)
13. Shellhammer, H. e Bamforth, W. (2008) *Assessing Color Quality of Beer*, Color Quality of Fresh and Processed Food's, 983, 192–202, [doi: 10.1021/bk-2008-0983.ch015](https://doi.org/10.1021/bk-2008-0983.ch015)
14. Brewers Association Beer Style Guidelines. *Brewers Association*. Available at: <https://www.brewersassociation.org/edu/brewers-association-beer-style-guidelines/> (Accessed: 7th November 2019)
15. Siebert, J. e Lynn, Y. (1997) *Mechanisms of Beer Colloidal Stabilization*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 55, 73–78, <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-55-0073>
16. Lewis, J., Muhleman, J. e Krumland, C. (1979) *Beer Colloid: Studies with Model Systems*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 37, 61–65, <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-37-0061>
17. Braun, F. *et al.* (2011) *Large-Scale Study on Beer Filtration with Combined Filter Aid Additions to Cellulose Fibres*, Journal of the Institute of Brewing, 117, 314–328 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00475.x>
18. Bamforth, C. (2006) *Brewing: New Technologies*, 1º Edição.
19. Wolfgang, K. (1996) *Technology Brewing and Malting*, 6º Edição.
20. Olajire, A. (2012) *The Brewing Industry and Environmental Challenges*, Journal of Cleaner Production, 256, 1-21, [doi:10.1016/j.jclepro.2012.03.003](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.003)
21. Müller, V., Besier, A., Pätz, R. e Fröhlich, J. (2013) *Method for the Treatment of the Phenomenon Gushing in Beer and Malt Beverages*, Erbslöh Geisenheim AG-AnGus1516® Brauindustrie, 1-9.
22. Benesova, K., *et al.* (2010) *Determination of Oxalic Acid in Barley and Malt Using the RP-HPLC*, Kvasny Prumysl Czech Repub, 56, 247-250.
23. Briggs, D., *et al.* (2004) *Brewing: Science and Practice*. 1º Edição [doi:10.1201/9780203024195](https://doi.org/10.1201/9780203024195)
24. Braeken, L., Van der Bruggen, B. e Vandecasteele, C. (2004) *Regeneration of Brewery Waste Water Using Nanofiltration*, Water Research, 38, 3075–3082 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.03.028>
25. Asare, E. K. *et al.* (2011) *Barley Grain Constituents, Starch Composition, and Structure Affect Starch in Vitro Enzymatic Hydrolysis*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 59, 4743–4754, [doi: 10.1021/jf200054e](https://doi.org/10.1021/jf200054e)

26. Fox, P. (2009) *Chemical Composition in Barley Grains and Malt Quality*, Genetics and Improvement of Barley Malt Quality, 63–98, [doi:10.1007/978-3-642-01279-2_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01279-2_3)
27. Kok, Y. J., et al. (2019) *Brewing with Malted Barley or Raw Barley: What Makes the Difference in the Processes?*, Applied Microbiology and Biotechnology, 103, 1059–1067 [doi: 10.1007/s00253-018-9537-9](https://doi.org/10.1007/s00253-018-9537-9)
28. Robinson, L. H., et al. (2004) *The Interaction Between Malt Protein Quality and Brewing Conditions and their Impact on Beer Colloidal Stability*, Tech. Q. Master Brew. Assoc. Am, 41, 353-362.
29. Jin, B. et al. (2011) *Investigation of Hordeins During Brewing and their Influence on Beer Haze by Proteome Analysis: Hordein During Brewing and their Influence on Beer Haze*, The Journal of Food Biochemistry, 35, 1522–1527, <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.2010.00474.x>
30. Sadosky, P., (2002) *Effect of Arabinoxylans, β -Glucans, and Dextrins on the Viscosity and Membrane Filterability of a Beer Model Solution*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 60, 153–162 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-60-0153>
31. De Keukeleire, D. (2000) *Fundamentals of Beer and Hop Chemistry*, Química nova, 23, 108-112 <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422000000100019>
32. Li, Q., Wang, J. & Liu, C. (2017) *Beers*, Current Developments in Biotechnology and Bioengineering: Food and Beverages Industry, 305–351 [doi:10.1016/B978-0-444-63666-9.00012-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63666-9.00012-1)
33. Bamforth, C. W. (1999) *Beer Haze*, Journal of the American Society of Brewing, 57, 81–90.
34. Bokulich, N. A. e Bamforth, C. W. (2013) *The Microbiology of Malting and Brewing*, Microbiology and Molecular Biology Reviews®, 77, 157–172, [doi: 10.1128/MMBR.00060-12](https://doi.org/10.1128/MMBR.00060-12)
35. White, C. e Zainasheff, J. (2010) *Yeast: The Practical Guide to Beer Fermentation*.
36. Smart, A., et al. (1999) *Use of Methylene Violet Staining Procedures to Determine Yeast Viability and Vitality*, Journal of the American Society of Brewing, 57, 18–23 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-57-0018>
37. Finn, A. e Stewart, G. (2012) *Fermentation Characteristics of Dried Brewers Yeast: Effect of Drying on Flocculation and Fermentation*, Journal of the American Society of Brewing, 60, 135–139 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-60-0135>
38. Straver, H., Kijne, W. e Smit, G. (1993) *Cause and Control of Flocculation in Yeast*, Trends Biotechnol, 11, 228–232 [https://doi.org/10.1016/0167-7799\(93\)90133-T](https://doi.org/10.1016/0167-7799(93)90133-T)
39. Mallett, J. (2014) *Malt: A Practical Guide from Field to Brewhouse*.
40. Martinez Amezcaga, J., Lataza Rovalletti, M. & Benítez, E. (2018) *Particle Size Distribution of Polysaccharides in Beer Before the Filtration process*, International Food Research Journal, 5, 13-19.
41. Samaras, S., et al. (2005) *Antioxidant Properties of Kilned and Roasted Malts*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 8068–8074 [doi: 10.1021/jf051410f](https://doi.org/10.1021/jf051410f)
42. Lasekan, O., (2010) *Effect of Malting Conditions and Quality Characteristics of Malt and Roasted Malt Extract from 'Acha' Grains*, Journal of the Science of Food and Agriculture, 90, 850–860 <https://doi.org/10.1002/jsfa.3895>
43. Delvaux, F., et al. (2000) *Characterisation of the Colloidal Haze in Commercial and Pilot Scale Belgian White Beers*, Journal of the Institute of Brewing, 106, 221–228 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2000.tb00061.x>
44. McCleary, V., et al. (1986) *Enzymic Hydrolysis and Industrial Importance of Barley β -Glucans and Wheat Flour Pentosans*, Starch – Stärke, 38, 433–437, [doi: 10.1002/star.19860381209](https://doi.org/10.1002/star.19860381209)
45. Steiner, E., (2010) *Turbidity and Haze Formation in Beer — Insights and Overview*, Journal of the Institute of Brewing, 116, 360-368, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00787.x>
46. Nollet, L. (2012) *Food Biochemistry and Food Processing*, 2º Edição.

47. Jin, L., (2018) *Effect of β -Glucans and Process Conditions on the Membrane Filtration Performance of Beer*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 62, 117-124 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-62-0117>
48. Jin, L., (2004) *Effects of β -Glucans and Environmental Factors on the Viscosities of Wort and Beer*, Journal Institute of Brewing, 110, 104–116 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2004.tb00189.x>
49. Enevoldsen, S. e Schmidt, F. (1974) *Dextrins in Brewing*, Journal of the Institute of Brewing, 80, 520–533.
50. Freeman, G. J. (2013) *Separation Technologies in Brewing, Separation, Extraction and Concentration Processes in the Food, Beverage and Nutraceuical Industries*, 1ª Edição, 430–449 [doi:10.1533/9780857090751.2.430](https://doi.org/10.1533/9780857090751.2.430)
51. Schisler, O., Ruocco, J. e Mabee, S. (1982) *Wort Trub Content and Its Effects on Fermentation and Beer Flavor*, Journal of the American Society of Brewing, 40, 57–61 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-40-0057>
52. Kühbeck, F., (2006) *Influence of Lauter Turbidity and Hot Trub on Wort Composition, Fermentation, and Beer Qualit*, Journal of the American Society of Brewing, 64, 16–28 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-64-0016>
53. Vaughan, A., O’Sullivan, T. e Sinderen, V. (2005) *Enhancing the Microbiological Stability of Malt and Beer — A Review*, Journal- Institute of Brewing, 111, 355–371 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00221.x>
54. Freeman, G. J. (2015) *Reducing Microbial Spoilage of Beer Using Filtration*, Brewing Microbiology, 241–251, [doi:10.1016/B978-1-78242-331-7.00011-3](https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-331-7.00011-3)
55. Rehmanji, M., Gopal, C. V. e Mola, A. (2005) *Beer Stabilization Technology - clearly a Matter of Choice*, Technical quarterly-Master Brewers Association of the Americas.
56. Wang, M. e Zhang, P. (2010) *β -glucans and Arabinoxylans*, China Center of Advanced Science and Technology, 113–142, [doi:10.1007/978-3-642-01279-2_5](https://doi.org/10.1007/978-3-642-01279-2_5)
57. Cristea, P. (2013) *Optimal Control of Beer Filtration Process*, IFAC Proceedings Volumes, 46, 762-767, <https://doi.org/10.3182/20131218-3-IN-2045.00156>
58. Doran, P. M. (2013) *Unit Operations*, Bioprocess Engineering Principle [doi:10.1016/B978-0-12-220851-5.00011-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-220851-5.00011-3)
59. Reed, R. (1986) *Centenary Review Article Beer Filtration*, Journal of the Institute of Brewing, 92, 413–419 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1986.tb04433.x>
60. Seader, J. D., Henley, E. J. e Roper, D. K. (2011) *Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations*, 2ª Edição.
61. Sparks, T. e Chase, G. (2013) *Filters and Filtration Handbook*, 6ª Edição.
62. Durkee, J. (2006) *7 - Equipment Used in Cleaning*, Management of Industrial Cleaning Technology and Processes, 339–393, [doi:10.1016/B978-008044888-6/50021-1](https://doi.org/10.1016/B978-008044888-6/50021-1)
63. Keifer, J. (2003) *Filtration of Liquids*, Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition, 2ª Edição, 2399–2403, [doi:10.1016/B0-12-227055-X/00464-8](https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/00464-8)
64. Beer filtration - Professional filters not only for big breweries, catálogo da Bílek filtry, (Accessed: 16th December 2019)
65. Riede, G. (1961). U.S. Patent No. 3,013,981. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
66. Kodra, M., Shahinasi, E., Stafasani, M., Dara, F. e Devolli, A. (2017) *Determination of Optimal Kieselguhr Doses to Improve Beer Filtration*. [doi:10.33107/ubt-ic.2017.153](https://doi.org/10.33107/ubt-ic.2017.153)
67. Gan, Q. et al. (2001) *Beer clarification by Microfiltration — Product Quality Control and Fractionation of Particles and Macromolecules*, Journal of Membrane Science, 194, 185-196. [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(01\)00515-4](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00515-4)
68. Fillaudeau, L. & Carrère, H. (2002) *Yeast Cells, Beer Composition and Mean Pore Diameter Impacts on Fouling and Retention During Cross-flow Filtration of Beer with Ceramic Membranes*, Journal of Membrane Science, 196, 39-57, [https://doi.org/10.1016/S0376-7388\(01\)00568-3](https://doi.org/10.1016/S0376-7388(01)00568-3)
69. Siebert, J. e Lynn, Y. (1998) *Comparison of Polyphenol Interactions with Polyvinylpolypyrrolidone and Haze-Active Protein*, Journal of the American Society of Brewing, 56, 24–31, <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-56-0024>

70. Siebert, K. J. (1999) *Effects of Protein–Polyphenol Interactions on Beverage Haze, Stabilization, and Analysis*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 47, 353–362, [doi:10.1021/jf980703o](https://doi.org/10.1021/jf980703o)
71. Siebert, J., Troukhanova, V. e Lynn, Y. (1996) *Nature of Polyphenol–Protein Interactions*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 44, 80–85 <https://doi.org/10.1021/jf9502459>
72. Papendick, S. (2015) *Separating Gluten from Reinheitsgebot Beer: Preliminary Assessment*. [doi: 10.13140/RG.2.1.3634.1929](https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3634.1929)
73. Stewart, G. G. (2004) *The Chemistry of Beer Instability*, Journal of Chemical Education, 81, 963, <https://doi.org/10.1021/ed081p963>
74. Poreda, A., Zdaniewicz, M., Sterczyńska, M., Jakubowski, M. e Puchalski, C. (2016) *Effects of Wort Clarifying by Using Carrageenan on Diatomaceous Earth Dosage for Beer Filtration*, Czech Journal of Food Sciences, 33, 392–397 <https://doi.org/10.17221/92/2015-CJFS>
75. Czekaj, P., López, F. e Güell, C. (2001) *Membrane Fouling by Turbidity Constituents of Beer and Wine: Characterization and Prevention by Means of Infrasonic Pulsing*, Journal Of Food Science, 49, 25–36 [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00181-3](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00181-3)
76. Bamforth, C. (2016) *Brewing Materials and Processes: A Practical Approach to Beer Excellence*, 1º Edição.
77. Ferreira, O. (2009) *Beer Carbohydrates*, Beer in Health and Disease Prevention, 291–298 [doi:10.1016/B978-0-12-373891-2.00027-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-373891-2.00027-4)
78. Gonzalez Viejo, C., Fuentes, S., Torrico, D., Howell, K. e Dunshea, R. (2018) *Assessment of Beer Quality Based on Foamability and Chemical Composition Using Computer Vision Algorithms, Near Infrared Spectroscopy and Machine Learning Algorithms*, Journal of the Science of Food and Agriculture, 98, 618–627 <https://doi.org/10.1002/jsfa.8506>
79. Pabby, A. K., Rizvi, S. S., & Requena, A. M. S. (2008) *Handbook of Membrane Separations: Chemical, Pharmaceutical, Food, and Biotechnological Applications*, CRC press, 2º Edição.
80. Gardner, N., Rodrigue, N. e Champagne, P. (1993) *Combined Effects of Sulfites, Temperature, and Agitation Time on Production of Glycerol in Grape Juice*, Saccharomyces cerevisiae, 59, 7 [doi:10.1128/aem.59.7.2022-2028.1993](https://doi.org/10.1128/aem.59.7.2022-2028.1993)
81. Wilson, P. (2012) *Microbial and Biochemical Changes Occurring During Production of Traditional Rwandese Banana Beer “Urwagwa”*, Journal of Fermentation Technology, 1 [doi: 10.4172/2167-7972.1000104](https://doi.org/10.4172/2167-7972.1000104)
82. Novák, P. & Havlíček, V. (2016) *Protein Extraction and Precipitation*, Proteomic Profiling and Analytical Chemistry, 51–62, [doi:10.1016/B978-0-444-63688-1.00004-5](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63688-1.00004-5)
83. Hopkins, R. (2013) *Biochemistry Applied to the Brewing Processes - Fermentation and the Finished Beer*, 57.
84. Pinto, M., Coelho, E., Nunes, A., Brandão, T. e Coimbra, A. (2015) *Valuation of Brewers Spent Yeast Polysaccharides: A Structural Characterization Approach*, Carbohydrate Polymers, 116, 215–222, [doi: 10.1016/j.carbpol.2014.03.010](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.03.010)
85. Ragot, F., Guinard, J.-X., Shoemaker, C. F. e Lewis, M. J. (1989) *The Contribution of Dextrins to Beer Sensory Properties Part I. Mouthfeel*, Journal of the Institute of Brewing, 95, 427–430, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1989.tb04650.x>
86. Ambrosi, A., Cardozo, M., e Tessaro, C. (2014). *Membrane Separation Processes for the Beer Industry: A Review and State of the Art*, Food and bioprocess technology, 7, 921-936, [doi: 10.1007/s11947-014-1275-0](https://doi.org/10.1007/s11947-014-1275-0)
87. Osman, A. M., Coverdale, S. M., Onley-Watson, K., Bell, D. e Healy, P. (2003) *The Gel Filtration Chromatographic-Profiles of Proteins and Peptides of Wort and Beer: Effects of Processing — Malting, Mashing, Kettle Boiling, Fermentation and Filtering*, Journal of the Institute of Brewing, 109, 41–50, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2003.tb00592.x>
88. Agriculture University Of Tirana et al. (2018) *The Influence of Protein Content on Beer Quality and Colloidal Stability*, International Journal of Innovative Approaches, Agricultural Research, 2, 391–407 <https://doi.org/10.29329/ijiaar.2018.174.12>
89. Eastmond, R. & Gardner, R. J. (1974) *Effect of Various Polyphenols on the Rate of Haze Formation in Beer*, Journal of the Institute of Brewing, 80, 192–200 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1974.tb03603.x>

90. Stkward, D. C., Hawthorne, D. e Evans, D. E. (1998) *Cold Sterile Filtration: A Small Scale Filtration Test and Investigation of Membrane Plugging*, Journal of the Institute of Brewing, 104, 321–326 <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1998.tb01003.x>
91. Asano, K., Ohtsu, K., Shinagawa, K., & Hashimoto, N. (1984) *Affinity of proanthocyanidins and their oxidation products for haze-forming proteins of beer and the formation of chill haze*, Agricultural and Biological Chemistry, 48, 1139-1146 <https://doi.org/10.1080/00021369.1984.10866300>
92. Popescu, V., Soceanu, A., Dobrinas, S., & Stanciu, G. (2013) *A Study of Beer Bitterness Loss During the Various Stages of the Romanian Beer Production Process*, Journal of the Institute of Brewing, 119, 111-115 [doi 10.1002/jib.82](https://doi.org/10.1002/jib.82)
93. Bamforth, W., Muller, E. e Walker, D. (1993) *Oxygen and Oxygen Radicals in Malting and Brewing: A Review*, Journal of the American Society of Brewing, 51, 79–88 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-51-0079>
94. Haseleu, G. et al. (2010) *Quantitative Sensomics Profiling of Hop-Derived Bitter Compounds Throughout a Full-Scale Beer Manufacturing Process*, Journal of Agricultural and Food Chemistry, 58, 7930–7939, <https://doi.org/10.1021/jf101326v>
95. Bamforth, W., Cook, J. (2019) *Food, Fermentation, and Micro-organisms*, 1º Edição.
96. (2019), *Eliminating Filter Cartridge Clogging*, Filtration + Separation, 1º Edição [https://doi.org/10.1016/S0015-1882\(19\)30036-9](https://doi.org/10.1016/S0015-1882(19)30036-9).
97. Informações da terra Randacel® http://static.lvensine.net/angelocoimbra2/Imgs/outros/randacel-150_200_400_ft.pdf (Accessed: 6th March 2020).
98. Informações da terra Celatom®: [https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom FW 50 TDS.pdf](https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom_FW_50_TDS.pdf), [https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom FW 20 TDS.pdf](https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom_FW_20_TDS.pdf), [https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom FP 4 TDS.pdf](https://www.tri-iso.com/documents/EP_Minerals_Celatom_FP_4_TDS.pdf) (Accessed: 7th March 2020).
99. Imagem do turbidímetro: https://equipamientocientifico.com/en_US/shop/product/turbidimetro-portatil-hach-2100q-5458 (Accessed: 10th March 2020).
100. Imagem do aparelho de pH: <https://www.superlabstore.com/hanna-hi-2020-02-edge-ph-metre-elektrodu-ile-birlikte> (Accessed: 24th March 2020).
101. Imagem do aparelho de Brix: <https://www.hanna.pt/produto/hi96813> (Accessed: 10th March 2020).
102. Imagem do mecanismo de floculação de: <https://www.mdpi.com/2311-5637/4/2/28/html> (Accessed: 13th May 2020).
103. Conceito retirado do protocolo: <file:///C:/Users/Pc/Desktop/Vadia%20Tese/Vadia%202º%20semestre/Materiais%20e%20Métodos/materiais%20acessórios%20há%20escrita/Espicíficos%20do%20filtro%20de%20cartuchos.pdf>
102. Fillaudeau, L., Boissier, B., Moreau, A., Blanpain-Avet, P., Ermolaev, S., Jitariouk, N. e Gourdon, A. (2007) *Investigation of Rotating and Vibrating Filtration for Clarification of Rough beer*, Journal of Food Engineering <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.05.022>.
103. Frančáková, H., Dráb, Š., Solgajová, M., Tóth, Ž., & Bojňanská, T. (2019) *Effect of Kieselguhr Filtration on Optical Properties of Beer*, Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 2, 2149-2157.
104. Bamforth, C. W. (2005). *Beer, Carbohydrates and Diet*, Journal of the Institute of Brewing, 111, 259-264, <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2005.tb00681.x>
105. Sadosky, P., Schwarz, P. B., & Horsley, R. D. (2002). *Effect of Arabinoxylans, β -glucans, and Dextrins on the Viscosity and Membrane Filterability of a Beer Model Solution*, Journal of the American Society of Brewing Chemists, 60, 153-162 <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-60-0153>.
106. Available at: <https://shop.pall.com/us/en/food-beverage/beer-corporate-/particle-filtration/zidgri78li4> (Accessed: 2th March 2020).
107. Available at: <http://www.ibdlearningzone.org/article/show/pdf/595/> (Accessed: 2th March 2020).
108. Available at: <https://www.cervejavadia.pt/pt/#01> (Accessed: 4th June 2020).

V. Anexos

Anexo 1:

Tabela 1: Registos da data de filtração, turbidez (FTU) e sólidos solúveis totais (°Brix) dos estilos de cerveja.

Estilos de cerveja	Lotes de cerveja	Data de filtração	Turbidez de cerveja a/filtrada (FTU)	Turbidez de cerveja d/filtrada (FTU)	Racio	1-Racio	% Racio (x100)	Média dos valores	Brix (início)	Brix (final)
<i>German Pilsner</i>	GP1	06/nov	877	24,55	0,03	0,97	97	53,5	--	--
	GP2	18/nov	71,2	59,5	0,84	0,16	16		--	--
	GP3	11/fev	802	79,8	0,10	0,90	90		6,80	6,70
	GP4	12/fev	900	802	0,89	0,11	11		6,70	6,80
	GP12	26/nov	65,2	14,1	0,22	0,78	78,4	93,6	6,80	6,70
	GP13	10/fev	238	5,43	0,02	0,98	97,7		6,90	6,80
	GP14	10/fev	593	5,65	0,01	0,99	99		6,60	6,50
	GP15	11/fev	802	5,48	0,01	0,99	99,3		6,80	6,60
<i>Indian Pale Ale</i>	IP5	15 e 16/out	306	19,6	0,06	0,94	94	93,6	--	--
	IP6	21/jan	169	20,6	0,12	0,88	87,8	87,8	8,30	7,50
<i>Dark Lager</i>	DL6	10/out	926	255,3	0,28	0,72	72	72,0	--	--
	DL17	20/dez	322	48,7	0,15	0,85	84,9	92,6	6,90	6,70
	DL18	03/jan	250	11,8	0,05	0,95	95,3		7,10	7,20
	DL19	03/jan	728	24,1	0,03	0,97	96,7		7,30	7,20
	DL20	19/dez	323	21,5	0,07	0,93	93,3		6,9	6,4
<i>Märzen</i>	MN7	23 a 25/out	1000	27,5	0,03	0,97	97	62,3	--	--
	MN8	21/jan	517	238	0,46	0,54	54		9,10	8,90
	MN9	27/jan	125	35,7	0,29	0,71	71		8,30	8,40

	MN10	22/jan	688	502	0,73	0,27	27	95,0	8,7	8,6
	MN20	22/jan	238	26,5	0,11	0,88	88,9		8,70	8,50
	MN21	16/jan	943	23,4	0,02	0,975	97,5		9,10	8,90
	MN23	21/jan	983,5	9,52	0,01	0,99	99		8,7	7,8
	MN24	22/jan	502	26,5	0,05	0,95	94,7		8,7	8,5
<i>Baltic Porter</i>	BP10	12/fev	379	310	0,82	0,18	18	18	13,30	13,40
<i>Doppelbock</i>	DB11	12/fev	442	265	0,60	0,40	40	40	11,40	11,40
<i>American Pale Ale</i>	AP23	02/jan	254	24,3	0,10	0,90	90,4	90	6,60	6,30
<i>Brut IPA</i>	BI1	19/dez	199,6	6,95	0,03	0,96	96,5	97	4,5	4,5
<i>Saison Lager</i>	SL1	22 e 23/dez	890,3	481	0,54	0,46	46	46	--	--
<i>Saison Pale Ale</i>	SP1	18/nov	543	408	0,75	0,25	25	25	--	--

Tabela 2: Registos do tempo (min), volume de filtração (L), número de lavagens, filtros utilizados na filtração de cartuchos e pH dos estilos de cerveja.

Estilos de cerveja	Lotes de cerveja	Tempo de filtração(min)	Volume filtrado (L)	Racio (L/min)	%Racio	Média dos valores	Filtros usados	Número de lavagens	pH a/filtração	pH d/filtração
<i>German Pilsner</i>	GP1	368	1634	4,44	1,76	6,03	5 µm + 3 × 1µm	2	--	--
	GP2	83	1654	19,93	7,90		3 × 5 µm	0	--	--
	GP3	107	1847	17,26	6,84		3 × 5 µm	1	4,53	4,52
	GP4	15	288	19,20	7,61		3 × 1 µm	0	4,48	4,53
	GP12	44	2307	52,4	13,0	8,5	--	--	4,43	4,43
	GP13	35	1645	47,0	11,6		--	--	4,15	4,15
	GP14	73	1799	24,6	6,1		--	--	4,45	4,43
	GP15	111	1545	13,9	3,4		--	--	4,53	4,37
<i>Indian Pale Ale</i>	IP5	400	967	2,42	0,96	0,96	5 µm + 3 × 1µm	3	--	--
	IP6	15	670	44,7	11,1	11,1	--	--	4,40	4,42
<i>Dark Lager</i>	DL6	95	1875	19,74	7,82	7,8	3 × 5 µm	2	--	--
	DL17	125	1707	13,7	3,4	4,2	--	--	4,36	4,32
	DL18	53	1478	27,9	6,9		--	--	4,49	4,51
	DL19	102	1568	15,4	3,8		--	--	4,47	4,51
	DL20	80	810	10,1	2,5		--	--	4,36	4,31
<i>Märzen</i>	MN7	985	1640	1,66	0,66	7,64	5 µm + 3 × 1µm	6	--	--
	MN8	60	1754	29,23	11,58		3 × 5 µm	2	4,64	4,67
	MN9	25	860	34,40	13,63		3 × 1 µm	0	4,33	4,30
	MN10	90	1664	18,5	4,6		3 × 5 µm	0	4,63	4,62
	MN20	45	1600	35,6	8,8	5,7	--	--	4,63	4,67
	MN21	40	549	13,7	3,4		--	--	4,64	4,67
	MN23	36	1154	32,1	7,9		--	--	4,63	4,61

	MN24	74	1164	15,7	3,9		--	--	4,63	4,67
<i>Baltic Porter</i>	BP10	39	1306	33,49	13,27	13,3	3 × 5 µm	0	4,75	4,71
<i>Doppelbock</i>	DB11	48	1533	31,94	12,65	12,6	3 × 5 µm	0	4,63	4,58
<i>American Pale Ale</i>	AP23	84	1545	18,4	4,6	4,6	--	--	4,18	4,22
<i>Brut IPA</i>	BI1	40	807	20,2	5,0	5,0	--	--	4,20	4,18
<i>Saison Lager</i>	SL1	663	921	1,39	0,55	0,55	1 × 5 µm	4	--	--
<i>Saison Pale Ale</i>	SP1	52	978	18,81	7,45	7,45	3 × 5 µm	0	--	--

Anexo 2:

Tabela 1: Registos da quantidade de terras (kg) utilizado para cada um dos lotes para a filtração de KG.

Estilos de cerveja	Lotes de cerveja		Randacel®200	Celatom®Fw50	Celatom®Fw12	Celatom®FP4
<i>German Pilsner</i>	GP12	1° pré-camada	0,095 kg		0,76 kg	
		2°- pré-camada		--	1,026 kg	0,114 kg
		Dosagem contínua			3,225 kg	0,70 kg
	GP13	1° pré-camada	0,0825 kg	0,667 kg		
		2°- pré-camada		0,450 kg	0,225 kg	0,075 kg
		Dosagem contínua			1,584 kg	0,818 kg
	GP14	1° pré-camada	--	--		
		2°- pré-camada			--	--

	GP15	Dosagem contínua			1,772 kg	0,920 kg
		1° pré-camada	0,0825 kg	0,667 kg		
		2°- pré-camada		0,450 kg	0,225 kg	0,075 kg
		Dosagem contínua			2,712 kg	1,43 kg
<i>Indian Pale Ale</i>	IP6	1° pré-camada	0,0825 kg	0,667 kg		
		2°- pré-camada		0,450 kg	0,225 kg	0,075 kg
		Dosagem contínua			0,792 kg	0,408 kg
<i>Dark Lager</i>	DL17	1° pré-camada	0,19 kg		1,52 kg	
		2°- pré-camada		--	1,539 kg	0,143 kg
		Dosagem contínua			1,464 kg	0,087 kg
	DL18	1° pré-camada	0,095 kg		0,76 kg	
		2°- pré-camada		--	0,513 kg	--
		Dosagem contínua			2,16 kg	--
	DL19	1° pré-camada	0,0475 kg		0,76 kg	
		2°- pré-camada		--	0,0257 kg	--
		Dosagem contínua			2,664 kg	--
	DL20	1° pré-camada	0,095 kg		0,76 kg	
		2°- pré-camada			1,026 kg	0,114 kg
		Dosagem contínua			1,134 kg	0,027 kg
<i>Märzen</i>	MN20	1° pré-camada	0,0825 kg	0,667 kg		
		2°- pré-camada		0,450 kg	0,225 kg	0,075 kg
		Dosagem contínua			1,343 kg	0,693 kg
	MN21	1° pré-camada	0,19 kg	--	1,52 kg	
		2°- pré-camada		1,254 kg	0,798 kg	0,228 kg
		Dosagem contínua		1,98 kg	1,26 kg	0,36 kg
	MN23	1° pré-camada	0,165 kg	1,334 kg		
		2°- pré-camada		0,9 kg	0,45 kg	0,225 kg
		Dosagem contínua			2,376 kg	1,856 kg
	MN24	1° pré-camada	0,0825 kg	0,667 kg		
		2°- pré-camada		0,450 kg	0,225 kg	0,075 kg
		Dosagem contínua			0,794 kg	0,408 kg
<i>American Pale Ale</i>	AP23	1° pré-camada	0,19 kg		1,52 kg	
		2°- pré-camada		--	2,052 kg	0,114 kg
		Dosagem contínua			7,48 kg	0,3 kg
		1° pré-camada	0,095 kg	--	0,76 kg	

<i>Brut IPA</i>	BI1	2°- pré-camada		--	1,026 kg	0,114 kg
		Dosagem contínua			1,728 kg	0,192 kg

Tabela 2: Registos da quantidade de terras (kg) total para cada um dos lotes para a filtração de KG.

Estilo de cerveja	Lotes de cerveja	Randacel®200	Soma Celatom®Fw50	% Soma Celatom®Fw50	Soma Celatom®Fw12	%Soma Celatom®Fw12	Soma Celatom®FP4	%Soma Celatom®FP4	Soma das terras total
<i>German Pilsner</i>	GP12	0,095	--	--	5,011	86	0,814	14	5,8
	GP13	0,0825	0,893	29,2	1,809	47,4	0,893	23,4	3,5
	GP14	--	--	--	1,772	65,8	0,92	34,2	2,6
	GP15	0,0825	1,117	20,8	2,73	51	1,505	28,1	5,3
<i>Indian Pale Ale</i>	IP6	0,0825	1,117	42,7	1,017	38,9	0,483	18,5	2,6
<i>Dark Lager</i>	MN17	0,19	--	--	4,523	95	0,23	5	4,7
	MN18	0,095	--	--	3,433	100	--	--	3,4
	MN19	0,0475	--	--	3,45	100	--	--	3,4
	MN20	0,095	--	--	2,92	95,3	0,141	4,6	3,0
<i>Märzen</i>	MN20	0,0825	1,117	18,4	1,019	38,9	0,483	42,6	2,6
	MN21	0,19	3,234	43,7	3,578	48,4	0,588	7,95	7,4
	MN23	0,165	2,234	31,3	2,826	39,6	2,081	29,14	7,1
	MN24	0,0825	1,117	42,6	1,019	38,9	0,483	18,4	2,6
<i>American Pale Ale</i>	AP23	0,19	--	--	11,052	96	0,414	4	11,4
<i>Brut IPA</i>	BI1	0,095	--	--	3,514	91,9	0,306	8,1	3,8